Reconstruction des barrages manuels de la Meuse

ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

Bassin versant de la Meuse

BAMEO
BARRAGES AISNE & MEUSE

ETUDE HYDRAULIQUE SUR LA MEUSE DE VERDUN A LA FRONTIERE BELGE

SOMMAIRE

1. OBJET DE L'ETUDE - 4 -
1.1. PRESENTATION SUCCINTE DU PROJET - 4 -
1.2. LES OBJECTIFS DE L'ETUDE HYDRAULIQUE - 4 -
2. ANALYSE HYDROLOGIQUE - 4 -
2.1. BILAN DES SOURCES D'INFORMATIONS DISPONIBLES - 4 -
2.1.1. Les études disponibles - 4 -
2.1.2. Stations de mesure ou points caractéristiques retenus - 5 -
2.1.3. Synthèse des résultats disponibles - 5 -
2.1.3.1. RESULTATS POUR L'OCCURRENCE BIENNALE - 5 -
2.1.3.2. RESULTATS POUR L'OCCURRENCE VICENNALE - 5 -
2.1.3.3. RESULTATS POUR L'OCCURRENCE CENTENNALE - 5 -
2.1.4. Hypothèses retenues - 6 -
2.2. CHOIX DES SCENARIOS HYDROLOGIQUES DE REFERENCE - 6 -
2.2.1. Principe général - 6 -
2.2.2. Construction des scénarios hydrologiques de référence - 6 -
2.2.2.1. PRINCIPE DE CONSTRUCTION DES HYDROGRAMMES - 6 -
2.2.2.2. CONSTRUCTION PRATIQUE DES HYDROGRAMMES - 6 -
2.2.2.3. PRESENTATION DES HYDROGRAMMES RETENUS - 7 -
2.3. SCENARIOS HYDROLOGIQUES EN PERIODE DE CHANTIER - 10 -
3. ANALYSE HYDRAULIQUE - 11 -
3.1. LES DONNEES EXISTANTES - 11 -
3.1.1. Relevés de niveau d'eau observés - 11 -
3.1.1.1. CAMPAGNES DE RELEVES AU DROIT DES SITES DE BARRAGE EN PROJET - 11 -
3.1.1.2. RELEVES DE NIVEAUX DE CRUES HISTORIQUES - 11 -
3.1.2. Données topographiques et bathymétriques - 12 -
3.1.3. Courbes de tarage aval - 12 -
3.2. L'ETENDUE DES MODELISATIONS HYDRAULIQUES - 12 -
3.3. LES MODELISATIONS MISES EN ŒUVRE - 14 -
3.3.1. Modélisation globale - 14 -
3.3.2. Modélisation locale bidimensionnelle - 14 -
3.3.2.1. LES 8 SITES RETENUS POUIR LA MODELISATION BIDIMENSIONNELLE - 14 -
3.3.2.2. LES CARACTERISTIQUES DES MODELES MIS EN ŒUVRE - 14 -
3.4. CALAGE DES MODELES ET CONDITIONS AUX LIMITES - 17 -
3.4.1. Calage du modèle global - 17 -
3.4.1.1. CALAGE SUR DES CONDITIONS HYDRAULIQUES DE DEBITS FAIBLES (SITUATION BARRAGE LEVES) - 17 -
3.4.1.2. CALAGE SUR LES CRUES HISTORIQUES (SITUATION BARRAGES EFFACES) - 17 -
3.4.2. Paramètres des modèles locaux - 24 -
3.4.3. Conditions aux limites du modèle global - 24 -
3.4.4. Conditions aux limites des modèles locaux - 24 -
3.5. PRESENTATION DES CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES EN SITUATION ACTUELLE, PROJET ET EN PHASE TRAVAUX - 25 -
3.5.1. Description géométrique des barrages en situation actuelle et projet - 25 -
3.5.2. Vues 3D des 8 sites dans différentes configurations - 27 -
3.6. FONCTIONNEMENT DES BARRAGES EN PERIODE D'EXPLOITATION - 35 -
3.6.1. Analyse de l'état actuel - 35 -
3.6.1.1. FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE ACTUEL EN CRUE – APPROCHE GLOBALE - 35 -
3.6.1.2. FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE ACTUEL EN CRUE – ZOOM LOCAUX - 41 -
3.6.2. Analyse de l'état projet - 42 -
3.6.2.1. FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE EN CRUE EN ETAT PROJET – APPROCHE GLOBALE - 42 -
3.6.2.2. FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE EN CRUE EN ETAT PROJET– ZOOM LOCAUX - 43 -
3.6.3. Incidence hydraulique du projet - 45 -
3.6.3.1. APPROCHE GLOBALE - 45 -
3.6.3.2. ZOOM LOCAUX - 51 -
3.6.4. Synthèse et commentaires en phase d'exploitation - 51 -
3.7. FONCTIONNEMENT ET IMPACT DU PROJET EN PHASE TRAVAUX - 52 -
3.7.1. Description des phases travaux considérées - 52 -
3.7.1.1. PHASAGE GENERAL DES TRAVAUX - 52 -
3.7.1.2. CARACTERISTIQUES DE CHACUNE DES CONFIGURATIONS TRAVAUX - 53 -
3.7.2. Incidence hydraulique des travaux individualisés par site et pour chaque configuration - 53 -
3.7.2.1. ANALYSE DES IMPACTS AU DROIT DU SITE M20 POUR LES DIFFERENTES CONFIGURATIONS DE CHANTIER - 53 -
3.7.2.2. ANALYSE DES IMPACTS AU DROIT DES AUTRES SITES POUR LES DIFFERENTES CONFIGURATIONS DE CHANTIER - 57 -
3.7.2.3. SYNTHESE DES IMPACTS HYDRAULIQUES INDIVIDUELS LOCAUX OBTENUS A PARTIR DES MODELISATIONS 2D - 58 -
3.7.3. Incidence hydraulique des travaux conbinés sur la ligne d'eau d'ensemble pour les phases 3, 5 et 9 - 58 -
3.8. APPROCHE SYNTHETIQUE DE L'INCIDENCE HYDRAULIQUE DU PROJET - 73 -
3.8.1. Impact hydraulique des travaux au droit des barrages - 73 -
3.8.2. Impact hydraulique des travaux au droit des enjeux inondables - 75 -
3.8.3. Impact hydraulique des travaux au droit des stations hydrométriques - 80 -
3.9. PROPOSITIONS D'OPTIMISATION DU PROJET - 82 -
4. ANNEXES - 84 -
4.1. ANNEXE 1 : PRESENTATION DES LOGICIELS DE MODELISATION : ISIS, TUFLOW, TELEMAC - 85 -
4.2. ANNEXE 2 : MODELISATIONS 2D LOCALES : CARTES DE MAILLAGE - 86 -
4.3. ANNEXE 3 : MODELISATIONS 2D LOCALES : CARTES DE COTE EN SITUATION ACTUELLE - 87 -
4.4. ANNEXE 4 : MODELISATIONS 2D LOCALES : CARTES DE COTE EN SITUATION PROJET - 88 -
4.5. ANNEXE 5 : MODELISATIONS 2D LOCALES : CARTES DE COTE EN CONFIGURATION CHANTIER - 89 -
4.6. ANNEXE 6 : RELATIONS DEBIT / COTE A L'AMONT DES BARRAGES (PROJET AVP) - 90 -
4.7. ANNEXE 7 : RELATIONS DEBIT / COTE AU DROIT DES PRINCIPALES ZONES A ENJEUX URBAINS (PROJET AVP) - 91 -
4.8. ANNEXE 8 : RELATIONS DEBIT / COTE AU DROIT DES STATIONS HYDROMETRIQUES (PROJET AVP) - 92 -
4.9. ANNEXE 9 : RELATIONS DEBIT / COTE DE M17 A M24 (PROJET « OPTIMISE » STADE PRO) - 93 -

TABLEAUX

Tableau 1 : liste des données hydrologiques disponibles ..... - 4 -
Tableau 2 : superficie du bassin versant de la Meuse aux stations hydrométriques ..... - 5 -
Tableau 3 : synthèse des débits issus des données disponibles pour l'occurence biennale ..... - 5 -
Tableau 4 : synthèse des débits issus des données disponibles pour l'occurence vicennale ..... - 5 -
Tableau 5 : synthèse des débits issus des données disponibles pour l'occurence centennale ..... - 5 -
Tableau 6 : Débits de pointe de crue retenus au droit des stations ..... - 6 -
Tableau 7 : débits journaliers de phase chantier sur la période 1er mai 31 octobre ..... - 10 -
Tableau 8 : débits retenus de phase chantier sur la période 1er mai 31 octobre ..... - 10 -
Tableau 9 : campagnes de relevés de basses eaux ..... - 11 -
Tableau 10 : Nombre de PHE par secteur sur les crues de référence ..... - 11 -
Tableau 11 : liste des données topographiques ..... - 12 -
Tableau 12 : Caractéristiques de la structure de la modélisation hydraulique globale ..... - 12 -
Tableau 13 : critères de sélection des sites de modélisation 2D locale ..... - 14 -
Tableau 14 : Caractéristiques de la structure de la modélisation hydraulique globale ..... - 14 -
Tableau 15 : caractéristiques géométriques des barrages en état actuel et projet ..... - 26 -
Tableau 16: RN et débit d'effacement en état actuel ..... - 35 -
Tableau 17: récapitulatif des débits d'effacement théoriques des barrages en état projet ..... - 42 -
Tableau 18: chronogramme prévisionnel des différentes phases chantier de la reconstruction des barrages de la Meuse ..... - 52 -

FIGURES

Figure 1: Hydrogrammes de crue à Montçy ..... - 7 -
Figure 2: Hydrogrammes de crue injectés à Halmé (Semoy) ..... - 8 -
Figure 3: Hydrogrammes de crue à Chooz ..... - 8 -
Figure 4: courbe de tarage à la frontière belge ..... - 12 -
Figure 5 : vue globale des modélisations hydrauliques mises en œuvre sur le secteur ..... - 13 -
Figure 6 : profil en long de calage sur le relevé de niveaux du 02/10/2013 ..... - 17 -
Figure 7 : profil en long de calage sur le relevé de niveaux du 17/12/2013 ..... - 17 -
Figure 8: profil en long de calage sur la crue de 1983 - secteur Verdun ..... - 18 -
Figure 9: profil en long de calage sur la crue de 1983 - secteur Stenay ..... - 19 -
Figure 10: profil en long de calage sur la crue de 1995 - secteur Sedan ..... - 20 -
Figure 11: profil en long de calage sur la crue de 1995 - secteur Charleville ..... - 22 -
Figure 12: profil en long de calage sur la crue de 1995 - secteur Revin ..... - 23 -
Figure 13 : vues 3D du site M1 dans les différentes situations (actuelle, projet et travaux) ..... - 27 -
Figure 14 : vues 3D du site M6 dans les différentes situations (actuelle, projet et travaux) ..... - 28 -
Figure 15 : vues 3D du site M9 dans les différentes situations (actuelle, projet et travaux) ..... - 29 -
Figure 16 : vues 3D du site M14 dans les différentes situations (actuelle, projet et travaux) ..... - 30 -
Figure 17 : vues 3D du site M17 dans les différentes situations (actuelle, projet et travaux) ..... - 31 -
Figure 18 : vues 3D du site M18 dans les différentes situations (actuelle, projet et travaux) ..... - 32 -
Figure 19 : vues 3D du site M20 dans les différentes situations (actuelle, projet et travaux) ..... - 33 -
Figure 20 : vues 3D du site M24 dans les différentes situations (actuelle, projet et travaux) ..... - 34 -
Figure 21: profil en long - ligne d'eau état actuel - secteur verdun ..... - 36 -
Figure 22: profil en long - ligne d'eau état actuel - secteur stenay ..... - 37 -
Figure 23: profil en long - ligne d'eau état actuel - secteur sedan ..... - 38 -
Figure 24: profil en long - ligne d'eau état actuel - secteur Charleville ..... - 39 -
Figure 25: profil en long - ligne d'eau état actuel - secteur Givet ..... - 40 -
Figure 26: carte des cotes d'eau calculées en état actuel pour la crue biennale ..... - 41 -
Figure 27: carte des vitesses calculées en état actuel pour la crue biennale ..... - 41 -
Figure 28: zoom sur le calcul de la vitesse d'écoulement dans les modélisations 2D locales ..... - 42 -
Figure 29: carte des cotes d'eau calculées en état projet pour la crue biennale ..... - 43 -
Figure 30: carte des vitesses d'écoulement calculées en état projet pour la crue biennale ..... - 44 -
Figure 31 : carte des cotes calculées en configuration chantier C1 pour la crue décennale de chantier ..... - 53 -
Figure 32 : carte des vitesses d'écoulement calculées en configuration chantier C1 pour la crue décennale de chantier ..... - 54 -
Figure 33: zoom sur la courantologie au droit du barrage M20 en configuration de chantier C1 pour Q10 chantier - 54 -
Figure 34: carte des cotes d'eau calculées en configuration chantier C2 pour la crue décennale de chantier ..... - 55 -
Figure 35 : carte des vitesses d'écoulement calculées en configuration chantier C2 pour la crue décennale de chantier ..... - 55 -
Figure 36 : zoom sur la courantologie au droit du barrage A3 en configuration de chantier C2 pour Q10 chantier . - 56 -
Figure 37 : carte des vitesses d'écoulement calculées en configuration chantier C3 pour la crue décennale de chantier ..... - 57 -
Figure 38 :zoom sur la courantologie au droit du barrage A3 en configuration de chantier C3 pour Q10 chantier .. - 57 -

1. OBJET DE L'ETUDE

1.1. PRESENTATION SUCCINTE DU PROJET

Voies Navigables de France (VNF) gère actuellement :

- une chaine de 6 ouvrages manuels sur la rivière Aisne : Région Picardie - Départements de l'Aisne (02) et de l'Oise (60),
- et une chaine de 23 ouvrages manuels et 2 ouvrages automatisés à Monthermé et Givet, sur la rivière Meuse : Région Lorraine – Département de la Meuse (55) et Région Champagne Ardenne – Département des Ardennes (08).

Ces ouvrages permettent de maintenir la ligne d'eau en période d'étiage pour la navigation et les autres usages, et de contribuer à la réduction de l'effet des faibles crues par abaissement préventif des plans d'eau. Enfin, ces ouvrages créent les conditions de la production d'énergie hydroélectrique (présence d'une chute d'eau), exploitée sur quelques sites.

L'exploitation de ces ouvrages datant de la fin du 19ème siècle est manuelle et présente donc de fortes contraintes en termes de moyens humains à mobiliser, de dangerosité et de pénibilité pour les barragistes. En outre, les ouvrages manuels ne permettent pas une régulation fine et contrôlée du niveau d'eau.

De ce fait, Voies Navigables de France a décidé de remplacer ces ouvrages à manœuvre manuelle par des ouvrages automatisés, pilotés et gérés de manière centralisée.

Le présent dossier concerne la construction de 23 ouvrages automatisés et de leurs équipements associés (notamment passes à poissons) et la déconstruction des ouvrages manuels existants de la Meuse.

Les travaux concernent également la mise en place de microcentrales à Saint-Joseph (M18), Ham sur Meuse (M24), et Givet (M25).

1.2. LES OBJECTIFS DE L'ETUDE HYDRAULIQUE

L'objet de la présente étude est de **déterminer les impacts hydrauliques** induits par le projet en période de crue :

- En phase d'exploitation
- Et en phase travaux

Ceci pour différents niveaux de crue (de la crue biennale à la crue de référence).

2. ANALYSE HYDROLOGIQUE

Il s'agit ici :

- de préciser les hypothèses hydrologiques retenues pour l'étude des éventuels impacts hydrauliques des nouveaux barrages
- de définir les scénarios de référence qui seront utilisés pour quantifier ces impacts

2.1. BILAN DES SOURCES D'INFORMATIONS DISPONIBLES

2.1.1. Les études disponibles

De nombreuses études hydrologiques ont été menées depuis 2000 sur le bassin versant de la Meuse. Le tableau ci-dessous récapitule les principales études à prendre en compte dans le cadre de la définition des hypothèses hydrologiques.

étude	date	maître d'ouvrage	méthode
étude globale de la Meuse	2001	EPAMA	renouvellement, Weibull
Banque Hydro	2013	DREAL Lorraine	maxima annuels, Gumbel
PPRi	2001	DDT	?
étude préliminaire PPP	2007	VNF	renouvellement, exponentielle + gradex
AVP	2010	BAMEO	maxima annuels log Gumbel
AMICE	2010	EPAMA	?
TRI Meuse	2013	DREAL Lorraine	?

Tableau 1 : liste des données hydrologiques disponibles

2.1.2. Stations de mesure ou points caractéristiques retenus

Compte tenu du linéaire d'étude, de la structuration du réseau hydrographique du bassin versant de la Meuse et des caractéristiques des stations hydrométriques (qualité de la mesure et longueur des chroniques disponibles), les différents stations / points retenus dans le cadre de la présente analyse sont récapitulés ci-après.

		Cours d'eau	Bassin versant (km²)
station	Saint-Mihiel	Meuse	2540
	Verdun (Belleville)	Meuse	3200
	Stenay	Meuse	3900
	Chauvency	Chiers	1700
	Sedan	Meuse	6500
	Montcy-Notre-Dame	Meuse	7720
	Monthermé	Meuse	9200
	Chooz	Meuse	10120

Tableau 2 : superficie du bassin versant de la Meuse aux stations hydrométriques

2.1.3. Synthèse des résultats disponibles

Les tableaux ci-après indique les résultats issus de chacune de ces études pour les crues biennale, vicennale et centennale ainsi que les écarts maxima constatés entre ces études.

2.1.3.1. RESULTATS POUR L'OCCURRENCE BIENNALE

		étude						
		étude globale de la Meuse	Banque Hydro	étude préliminaire PPP	AVP	AMICE	TRI Meuse	écart max/min
station	Saint-Mihiel	330	260	nd	211	?	?	56%
	Verdun	nd	280	299	197	?	?	52%
	Stenay	310	270	295	236	?	?	25%
	Chauvency	160	160	nd	nd	nd	?	31%
	Sedan	nd	340	353	297	?	?	19%
	Montcy-Notre-Dame	490	430	506	410	?	?	20%
	Monthermé	nd	nd	nd	nd	?	?	
	Chooz	690	700	816	636	?	?	28%

Tableau 3 : synthèse des débits issus des données disponibles pour l'occurence biennale

nd = non disponible
Les valeurs reprises dans l'AVP semblent nettement sous estimées par rapport à celles issues de autres études disponibles. Cela s'explique en partie car l'AVP avait considéré des débits journaliers et non des débits de pointe de crue.

2.1.3.2. RESULTATS POUR L'OCCURRENCE VICENNALE

		étude						
		étude globale de la Meuse	Banque Hydro	étude préliminaire PPP	AVP	AMICE	TRI Meuse	écart max/min
station	Saint-Mihiel	**490**	**530**	**nd**	**533**	**?**	**?**	**9%**
	Verdun	**nd**	**nd**	**651**	**612**	**?**	**?**	**7%**
	Stenay	**520**	**530**	**593**	**543**	**?**	**?**	**4%**
	Chauvency	**290**	**310**	**nd**	**nd**	**nd**	**?**	**7%**
	Sedan	**nd**	**nd**	**722**	**789**	**?**	**?**	**9%**
	Montcy-Notre-Dame	**870**	**750**	**836**	**832**	**?**	**?**	**16%**
	Monthermé	**nd**	**nd**	**nd**	**nd**	**?**	**?**	**nd**
	Chooz	**1400**	**1300**	**1378**	**1361**	**?**	**?**	**5%**

Tableau 4 : synthèse des débits issus des données disponibles pour l'occurence vicennale

nd = non disponible

Les valeurs de débit sont relativement homogènes entre les différentes études.

2.1.3.3. RESULTATS POUR L'OCCURRENCE CENTENNALE

		étude							
		étude globale de la Meuse	Banque Hydro	*PPRi*	étude préliminaire PPP	AVP	AMICE	TRI Meuse	écart max/min
station	Saint-Mihiel	**570**	**nd**	***570***	**nd**	**nd**	**578**	**?**	**1%**
	Verdun	**nd**	**nd**	***nd***	**908**	**nd**	**627**	**?**	**45%**
	Stenay	**640**	**nd**	***640***	**834**	**nd**	**631**	**?**	**32%**
	Chauvency	**370**	**nd**	***370***	**nd**	**nd**	**nd**	**?**	**0%**
	Sedan	**nd**	**nd**	***910***	**1044**	**nd**	**762**	**?**	**37%**
	Montcy-Notre-Dame	**1100**	**nd**	***1100***	**1119**	**nd**	**910**	**?**	**23%**
	Monthermé	**nd**	**nd**	***1420***	**nd**	**nd**	**1365**	**?**	**4%**
	Chooz	**1890**	**nd**	***1570***	**1828**	**nd**	**1578**	**?**	**20%**

Tableau 5 : synthèse des débits issus des données disponibles pour l'occurence centennale

nd = non disponible

Les valeurs retenues par les précédentes études PPP (étude BCEOM 2007 pour VNF) sont sensiblement plus élevées que celles issues des autres études.

2.1.4. Hypothèses retenues

L'objectif de l'étude étant d'analyser les impacts hydrauliques des nouveaux barrages et donc de travailler en relatif par rapport à la situation actuelle de référence, les valeurs « absolues » des crues caractéristiques ne sont pas à proprement parler fondamentales, l'important étant avant tout de disposer d'un panel suffisamment large de situations pour appréhender l'éventuelle variabilité de ces impacts.

D'un point de vue « stratégique », il s'agit, si possible, de s'assurer de la cohérence des résultats utilisés avec les études faisant référence sur le secteur.

D'un point de vue technique, il n'y a pas lieu de privilégier les hypothèses maximalistes car ce ne sont pas nécessairement les débits les plus forts qui induiront les impacts les plus importants.

Ces éléments rappelés, il est proposé de retenir les valeurs de débits caractéristiques issues de l'étude globale de la Meuse et reprises dans les PPRi et la cartographie des TRI, sauf sur le secteur en aval de la confluence avec la Semoy (Monthermé-Givet).

Les chroniques de débit disponibles aux stations de Verdun, Sedan et Monthermé étant relativement courtes, les valeurs retenues à ces stations ne sont pas directement issues d'analyses statistiques mais recalculées en cohérence avec celles retenues à Stenay, Montcy-Notre-Dame et Chooz (formule de Myer).

Le tableau ci-après récapitule les hypothèses de débits ainsi retenus.

		occurrence de crue					
		Q2	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100
station	Saint-Mihiel	**330**	**400**	**450**	**490**	**540**	**580**
	Verdun	**320**	**400**	**460**	**500**	**570**	**620**
	Stenay	**310**	**400**	**470**	**520**	**590**	**640**
	Chauvency	**160**	**220**	**260**	**290**	**340**	**370**
	Sedan	**430**	**570**	**670**	**760**	**870**	***910***
	Montcy-Notre-Dame	**490**	**650**	**770**	**870**	**1000**	**1100**
	Monthermé	**630**	**890**	**1090**	**1190**	**1320**	***1430***
	Chooz	**690**	**980**	**1190**	**1300**	**1450**	***1570***

Tableau 6 : Débits de pointe de crue retenus au droit des stations

2.2. CHOIX DES SCENARIOS HYDROLOGIQUES DE REFERENCE

2.2.1. Principe général

Compte tenu des éléments de doctrine des services de l'Etat quant à l'analyse des impacts hydrauliques de nouveaux aménagement, les scénarios hydrologiques de référence seront constitués par les crues de périodes de retour 2, 5, 10, 20, 50 et 100 ans.

2.2.2. Construction des scénarios hydrologiques de référence

2.2.2.1. PRINCIPE DE CONSTRUCTION DES HYDROGRAMMES

Au-delà du seul débit de pointe « local », les scénarios sont également caractérisés par leur débit moyen sur 1 jour, 2 jour, etc.

Pour la construction du corps de l'hydrogramme correspondant, il est proposé de reprendre les hypothèses de l'étude globale de la Meuse, considérant une crue « monofréquence » (i.e. de période de retour identique en débit de pointe comme en volume écoulé sur 1 jour, 2 jour, etc.) dont la cinétique est calée sur les crues historiques de 1983 (en amont de la confluence avec la Chiers), 1993 ou 1995 (en aval de la confluence avec la Chiers).

Les scénarios intermédiaires sont construits par homothétie de l'hydrogramme de référence.

2.2.2.2. CONSTRUCTION PRATIQUE DES HYDROGRAMMES

Compte tenu du découpage du modèle hydraulique en 5 sous-modèles de Verdun jusqu'à Givet, il est nécessaire d'élaborer, pour chaque occurrence de crue, autant de sous-scénarios hydrologiques.

L'hydrogramme en entrée de chaque sous-modèle sera construit par interpolation entre les hypothèses disponibles aux stations les plus proches.

Les hydrogrammes d'apport intermédiaires seront injectés selon la topologie du réseau hydrographique et calés de manière cohérente avec les crues historiques servant de référence, le laminage de la crue par le lit majeur et les débits « objectifs » du scénario hydrologique envisagé.

Deux cas particuliers de confluence de la Meuse avec ses principaux affluents que sont la Chiers et la Semoy méritent d'être examinés plus en détail.

Une confrontation des hypothèses hydrologiques de concomitance des affluents et de laminage en lit majeur est ensuite réalisée au stade de l'analyse hydraulique afin d'assurer la cohérence d'ensemble entre les approches hydrologiques et hydrauliques.

CAS PARTICULIER DE LA CONFLUENCE MEUSE / CHIERS

Compte tenu de la configuration de la vallée de la Chiers, les seules données fiables disponibles supposent de remonter à la station de Chauvency située relativement en amont de la confluence. Sur le linéaire compris entre cette station et la confluence deux mécanismes concurrents associés aux apports intermédiaire d'une part et au laminage d'autre part se produisent.

Néanmoins, c'est uniquement le respect des hypothèses de débit en aval de la confluence qui est recherché, l'hydrologie de la Chiers n'ayant intrinsèquement qu'un impact sur la zone stricte de confluence. De fait, les apports de la Chiers seront calés afin d'obtenir le débit recherché en aval de la confluence.

CAS PARTICULIER DE LA CONFLUENCE MEUSE / SEMOY

Contrairement au cas précédent, cette confluence ne pose pas de problème particulier en termes hydraulique du fait de la configuration de la vallée. En termes hydrologiques, la station d'Haulmé est suffisamment proche de la confluence pour utiliser directement les observations ou hypothèses qui y sont faites.

S'agissant des hypothèses de concomitance, elles sont reprises de la crue historique type envisagée, étant entendu qu'au final c'est de toute façon le respect de l'hypothèse de la valeur du débit de pointe en aval de la confluence qui est recherché.

Néanmoins, comme dans le cas précédent et dans tous les cas de confluences importantes, si les périodes de retour des débits de chaque tronçon sont faciles à déterminer, celles des niveaux d'eau associés en amont de la confluence (dans la zone de remous) sont plus complexes à définir.

2.2.2.3. PRESENTATION DES HYDROGRAMMES RETENUS

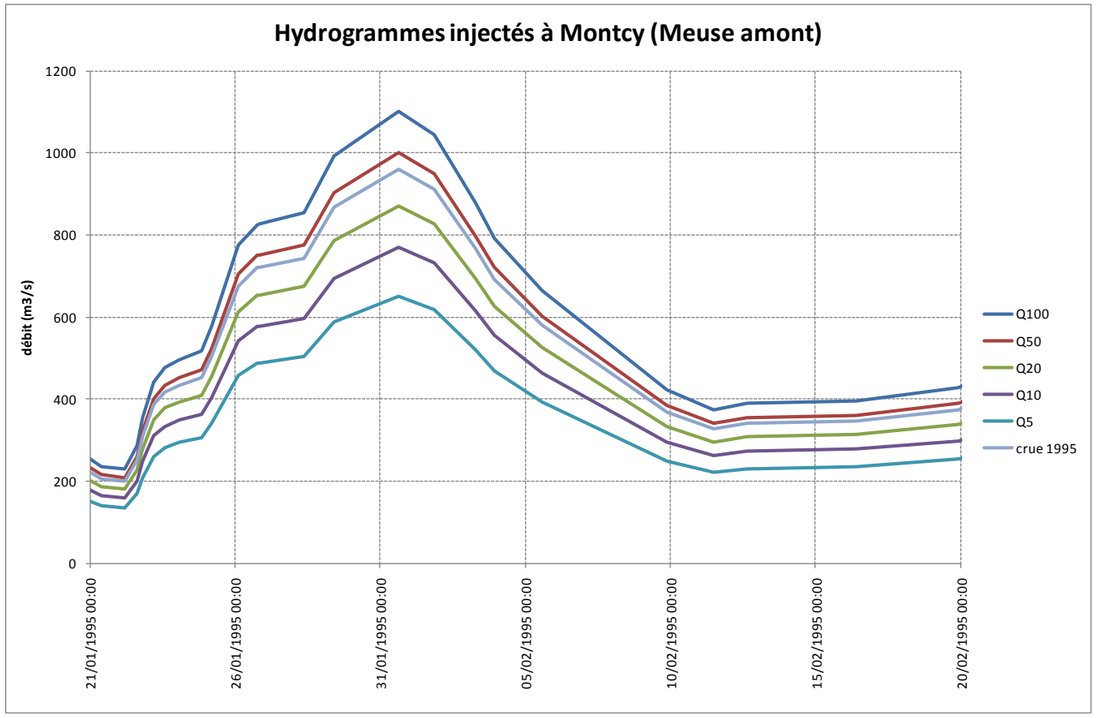


Figure 1: Hydrogrammes de crue à Montçy

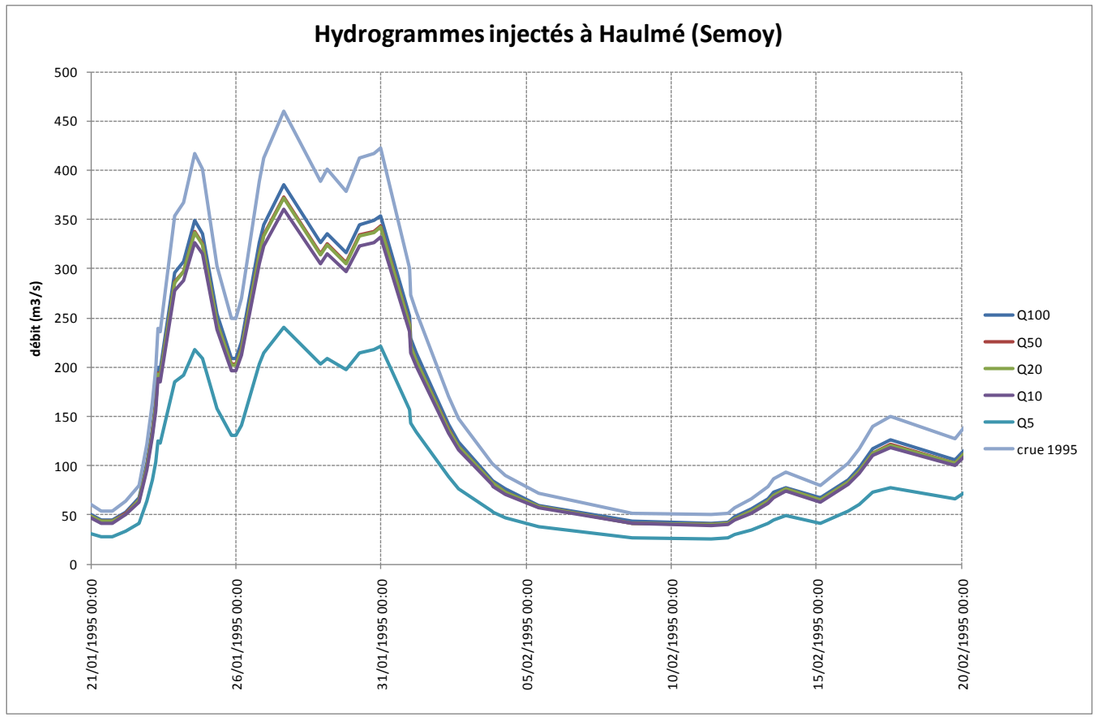


Figure 2: Hydrogrammes de crue injectés à Halmé (Semoy)

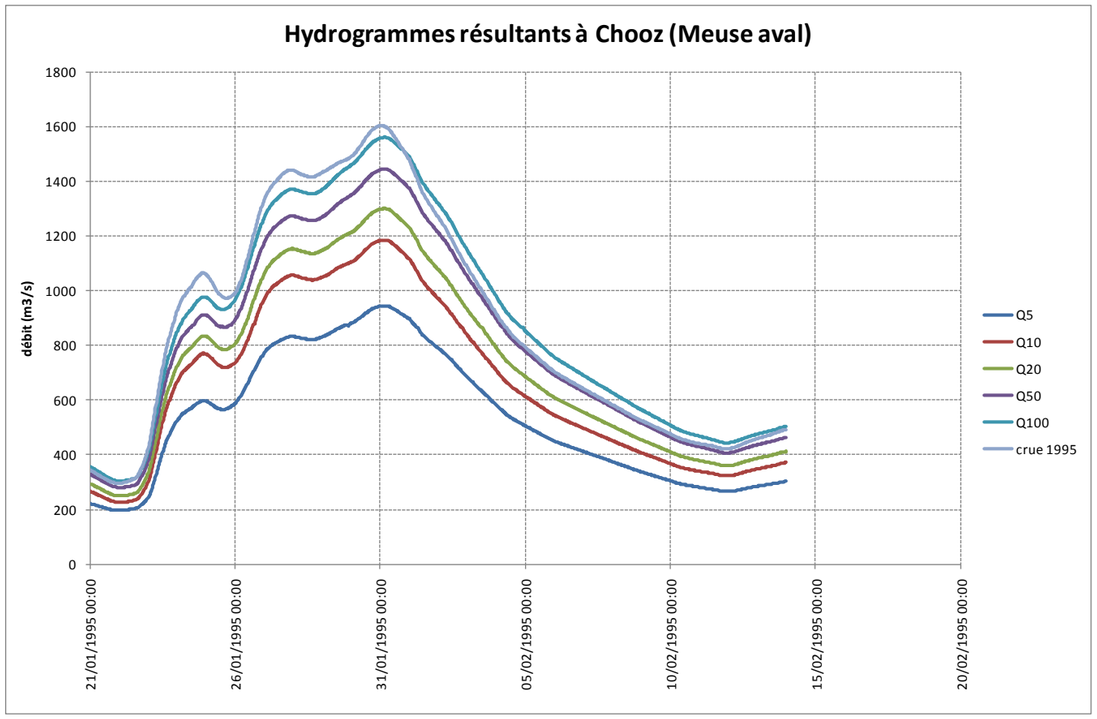
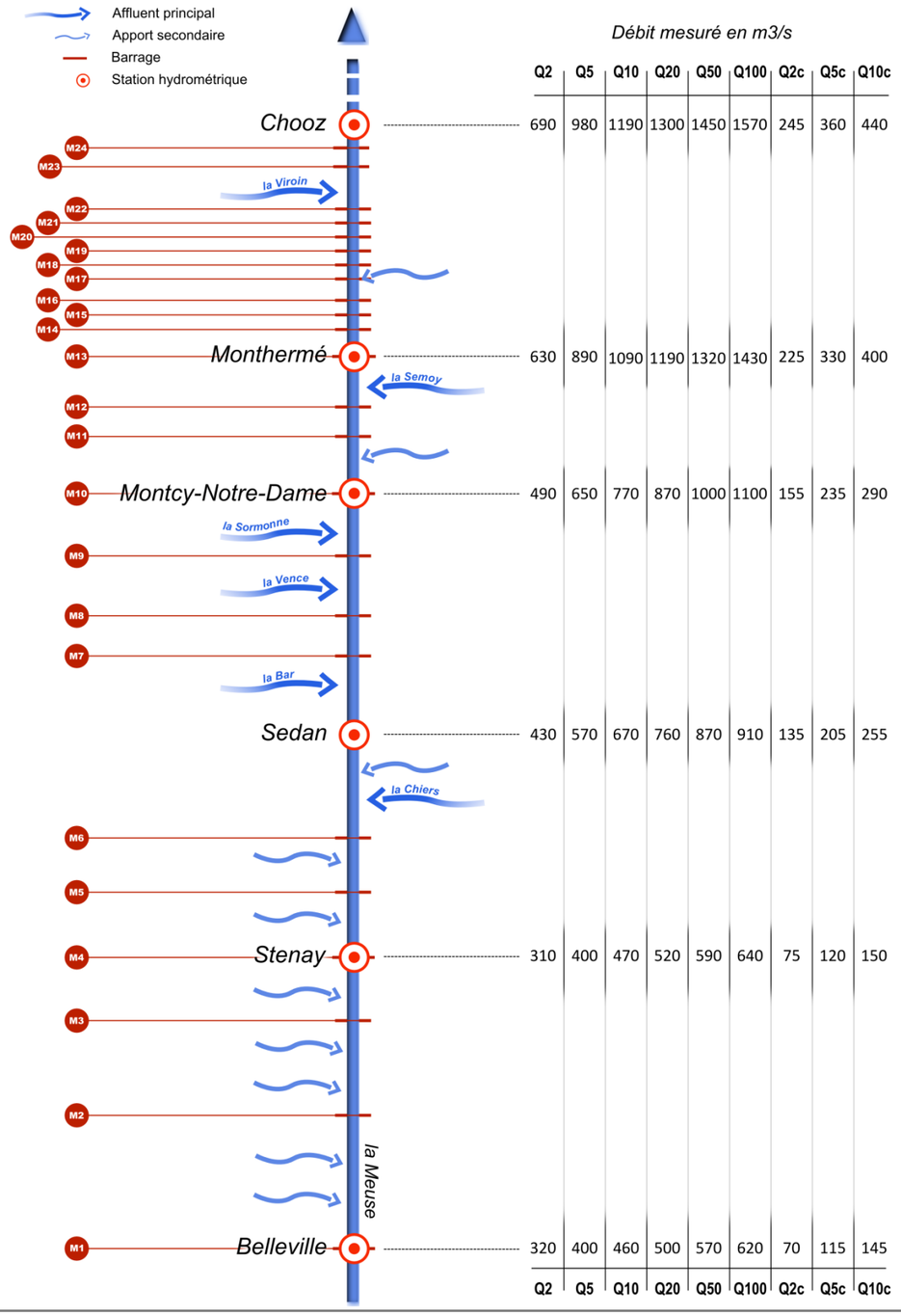


Figure 3: Hydrogrammes de crue à Chooz

ETUDE HYDRAULIQUE SUR LA MEUSE DE VERDUN A LA FRONTIERE BELGE

Les débits de pointe de crue et les hydrogrammes sont déterminés aux stations hydrométriques selon la méthodologie décrite précédemment.
Ces hydrogrammes sont ensuite transités et combinés par modélisation hydraulique selon le principe exposé sur le synoptique ci-contre.



Débit mesuré en m3/s

	Q2	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q2c	Q5c	Q10c
Chooz	690	980	1190	1300	1450	1570	245	360	440
Monthermé	630	890	1090	1190	1320	1430	225	330	400
Montcy-Notre-Dame	490	650	770	870	1000	1100	155	235	290
Sedan	430	570	670	760	870	910	135	205	255
Stenay	310	400	470	520	590	640	75	120	150
Belleville	320	400	460	500	570	620	70	115	145
	Q2	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q2c	Q5c	Q10c

2.3. SCENARIOS HYDROLOGIQUES EN PERIODE DE CHANTIER

Contrairement à l'hydrologie « annuelle », l'hydrologie saisonnière propre à la période de chantier ne peut s'appuyer sur des résultats existants autres que ceux de l'AVP. Par souci de cohérence, il convient néanmoins en termes méthodologiques, de s'assurer qu'à la « limite », si le chantier devait durer 12 mois, on retombe bien sur les résultats de l'hydrologie annuelle.

La définition de l'hydrologie de chantier revêt un caractère important car elle permet de définir l'occurrence de crue à partir de laquelle l'impact du chantier devient trop important et donc où des mesures doivent être mises en œuvre pour réduire cet impact. En comparant cette occurrence avec la fréquence « acceptable » de mise en œuvre de telles mesures, la période de chantier peut éventuellement être réajustée ou des mesures compensatoires envisagées.

Le tableau ci-après fournit le comparatif des résultats obtenus aux stations de Saint-Mihiel, Stenay, Sedan, Montcy et Chooz sur la période la plus favorable et pour une durée de travaux de 6 mois (dans les deux cas et quelque soit le secteur considéré, la période de travaux la plus favorable est la période du 1er mai au 31 octobre).

		AVP			PRO		
		Q2C	Q5C	Q10C	Q2C	Q5C	Q10C
station	Saint-Mihiel	53	105	166	62	102	135
	Stenay	66	118	175	73	116	144
	Sedan	91	144	197	97	148	182
	Montcy-Notre-Dame	141	217	288	154	235	289
	Chooz	223	346	462	246	362	438

Tableau 7 : débits journaliers de phase chantier sur la période 1er mai 31 octobre

NOTA

Ces statistiques sont établies sur la base des débits journaliers maxima annuels sur la période considérée. Afin de tenir compte des écarts existant entre débit de pointe et débit journalier sur la Meuse médiane, les valeurs correspondantes doivent être majorées de 5%.

Il est au final proposé de retenir les valeurs suivantes :

		Occurrence de crue					
		Q2C	Q5C	Q10C	Q20C	Q50C	Q100C
station	Saint-Mihiel	65	110	135	160	195	225
	Stenay	75	120	150	180	220	245
	Chauvency (Chiers)	50	95	115	140	170	195
	Sedan	135	205	255	295	355	395
	Montcy-Notre-Dame	155	235	290	340	405	455
	Haulmé (Semoy)	75	130	160	195	235	265
	Monthermé	225	330	400	465	555	620
	Chooz	245	360	440	510	610	680

Tableau 8 : débits retenus de phase chantier sur la période 1er mai 31 octobre

Comme précédemment, les valeurs indiquées pour les stations de Sedan et Monthermé ne sont pas issues directement d'ajustements statistiques sur les débits observés mais recalculées en cohérence avec les stations de Montcy et Chooz.

Comme pour les crues théoriques, l'intégration de ces débits de crue dans la modélisation hydrauliques suit le synoptique présenté précedemment.

NOTA

Les stations de Chauvency sur la Chiers et de Haulmé sur la Semoy ont été ajoutées pour information au tableau précédent.
Les contributions respectives de ces deux affluents principaux aux crues de la Meuse sont de toute façon implicitement prises en compte dans les débits indiqués aux stations de Sedan et de Monthermé, intégrant de fait les éventuels déphasage de pic de crue avec la Meuse. Les apports de la Chiers et de la Semoy, notamment durant la période de chantier, peuvent en revanche avoir une incidence spécifique en termes de cinétique de crue.

3. ANALYSE HYDRAULIQUE

3.1. LES DONNEES EXISTANTES

3.1.1. Relevés de niveau d'eau observés

Ces données de différentes origines sont utilisés dans la suite du document pour les calages des modélisations hydrauliques.

3.1.1.1. CAMPAGNES DE RELEVES AU DROIT DES SITES DE BARRAGE EN PROJET

Dans le cadre et pour les besoins du projet, BAMEO a confié au cabinet de géomètre GUELLE, la réalisation de 3 campagnes de relevés de niveau d'eau au droit des sites de projet.
Afin de pouvoir exploiter ces données pour les phases de calage de la modélisation hydraulique, les débits transitant dans le cours d'eau aux dates des relevés ont été recherchés afin de pouvoir disposer d'une correspondance entre les cotes observés et les débits.

Les principaux éléments de ces relevés ainsi que les débits estimés au droit des différents barrages aux dates des relevés sont donnés ci-dessous :

		relevé du 02/10/2013			relevé du 16/12/2013			relevé du 13/01/2014		
	barrage	niveau d'eau en amont	niveau d'eau en aval	débit	niveau d'eau en amont	niveau d'eau en aval	débit	niveau d'eau en amont	niveau d'eau en aval	débit
M1	Belleville	193.92	191.32	11.8	193.92	191.58	30			
M2	Sivry	180.66	178.56	13.8	180.70	178.89	33.9			
M3	Sassey	171.28	169.31	15.6	171.23	169.68	37.3			
M4	Stenay	164.35	162.62	17.1	164.34	163.14	40.5			
M5	Alma	158.24	157.34	17.7	159.38	157.59	42			
M6	Villers-devant-Mouzon	153.47	151.30	18.3	154.24	151.88	43.2			
M7	Dom-le-Mesnil	145.97	144.90	31.1	145.64	144.84	65.8			
M8	Romery	144.88	143.01	31.1	144.59	143.14	65.8			
M9	Mézières	142.78	141.14	32	142.83	141.20	67.3			
M10	Montcy	139.35	137.84	33.3	139.32	138.02	70.3			
M11	Joigny	137.63	136.15	33.7	137.58	136.08	72.3			
M12	Levrezy	136.07	133.77	33.7	136.00	133.95	72.3			
M13	Monthermé	133.64	130.43	40.2	133.66	130.70	88.5			
M14	Petite commune	130.39	128.47	40.2	130.33	128.64	88.5			
M15	Dames de Meuse	128.45	126.43	40.2	128.46	126.64	88.5			
M16	Orzy	125.19	123.57	40.2	125.09	123.54	88.5			
M17	Saint-Nicolas	123.56	121.34	40.2	123.38	121.65	88.5	122.59	122.33	250
M18	Saint-Joseph	119.33	116.89	41	119.39	116.92	93	118.22	117.33	252
M19	Uf	116.85	114.55	41	116.65	115.09	93	116.13	115.68	254
M20	Vannes-Alcorps	114.48	112.71	41	114.34	112.74	93	113.79	113.21	256
M21	Fépin	112.34	110.34	41	112.19	110.44	93	111.61	110.93	258
M22	Montigny	110.23	108.06	41	110.14	108.31	93	109.72	109.21	260
M23	Mouyon	107.72	106.19	41				107.09	106.6	274
M24	Ham-sur-Meuse	106.16	104.31	43.3	106.08	104.44	100	105.90	105.33	277
M25	Givet	99.69	97.17	44.3	99.64	97.31	102	99.67	98.16	286

Tableau 9 : campagnes de relevés de basses eaux

3.1.1.2. RELEVES DE NIVEAUX DE CRUES HISTORIQUES

Des données de relevés de niveaux historiques sont également disponibles sur la zone d'étude. Pour les crues historiques de référence (1983 à l'amont de la Chiers et 1995 à l'aval), on dispose d'un nombre significatif de relevés de niveaux qui ont permis de caler les modèles hydrauliques.

Date de la crue	Nombre de PHE sur le secteur VERDUN	Nombre de PHE sur le secteur SEDAN	Nombre de PHE sur le secteur STENAY	Nombre de PHE sur le secteur CHARLEVILLE	Nombre de PHE sur le secteur REVIN
Avril 1983	8	5	11	7	0
Janvier 1995	0	49	3	51	272

Tableau 10 : Nombre de PHE par secteur sur les crues de référence

3.1.2. Données topographiques et bathymétriques

Les données topographiques utilisées sont listées dans le tableau ci-dessous :

Eléments représentés	origine	Réalisé par	date
Lit mineur (profils en travers tous les 500 m en moyenne)	BAMEO	GUELLE (pour l'EPAMA)	Approx 1995
Lit majeur (photogrammétrie)	VNF (documents du concours)	?	Approx 1995
Lit majeur (LIDAR)	BAMEO	IGN	2013
Ponts (caractéristiques hydrauliques)	BAMEO	Cabinet Guelle	2013
Barrages de navigation (radier et largeur des passes)	VNF (étude BCEOM 2007)		Etude 2007
Barrages de navigation (plans)	VNF	Cabinet de géomètre Fit Conseil	2010

Tableau 11 : liste des données topographiques

En complément de ces éléments, les caractéristiques hydrauliques des travaux réalisés sur le linéaire d'étude suite aux crues de 1995 ont pu être pris en compte par recoupement de données disponibles. Les modélisations réalisées tiennent compte le mieux possible des travaux de recalibrage de Givet et des coupures de Charleville Mézières ainsi que de la zone d'expansion de crue de Mouzon.

3.1.3. Courbes de tarage aval

La modélisation hydraulique réalisée dans le cadre de la présente étude couvre le linéaire de Meuse qui va de Verdun jusqu'à l'aval de Givet (frontière belge). La condition aval utilisée pour la modélisation est la courbe débit/cote à la frontière belge fournie par l'EPAMA en janvier 2014.

Cette loi hydraulique tient compte des derniers aménagements réalisés sur le territoire belge et qui impactent la ligne d'eau de la Meuse sur la zone de Givet.

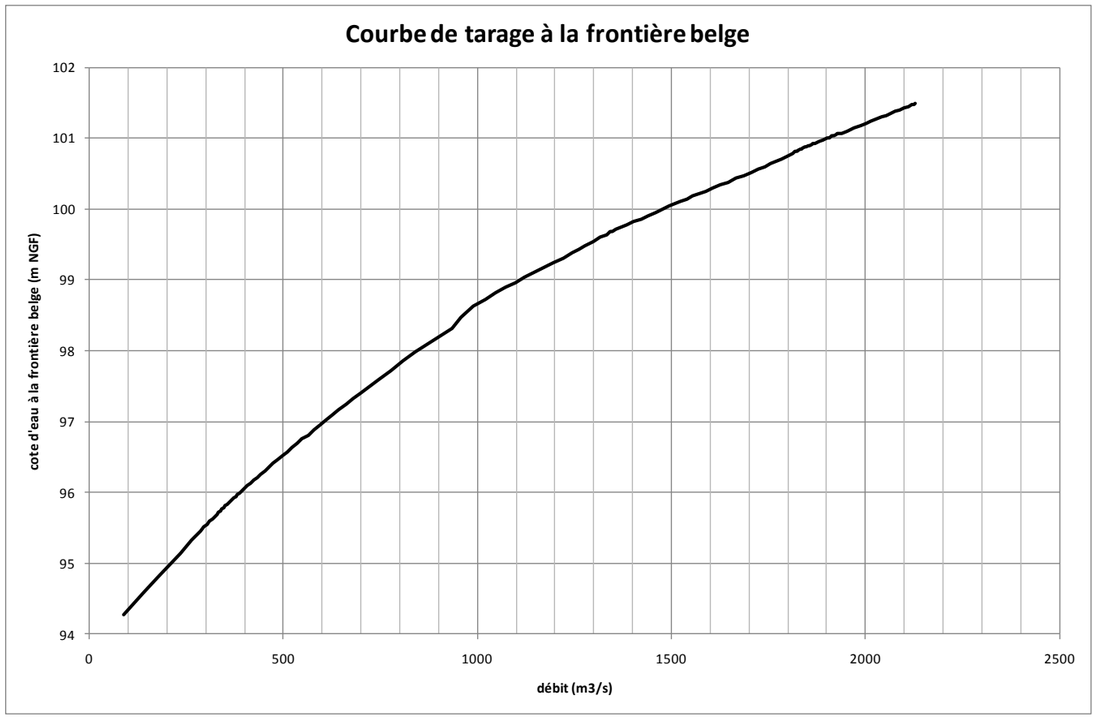


Figure 4: courbe de tarage à la frontière belge

3.2. L'ETENDUE DES MODELISATIONS HYDRAULIQUES

Comme exposé sur la carte suivante, la modélisation hydraulique globale a été réalisée sous forme de 5 sous-secteurs présentés sur la figure ci-dessous et dont les principaux éléments de structure sont donnés ci-dessous :

Secteur	PM début	PM fin	Linéaire de lit mineur (km)	Superficie en ha de lit majeur traité en 2D (couplage au lit mineur 1D)
VERDUN	2000	50000	48	287
STENAY	49500	91000	41,5	4159
SEDAN	90000	150000	60	3958
CHARLEVILLE	149500	168500	19	0
REVIN	167000	258330	91,33	0

Tableau 12 : Caractéristiques de la structure de la modélisation hydraulique globale

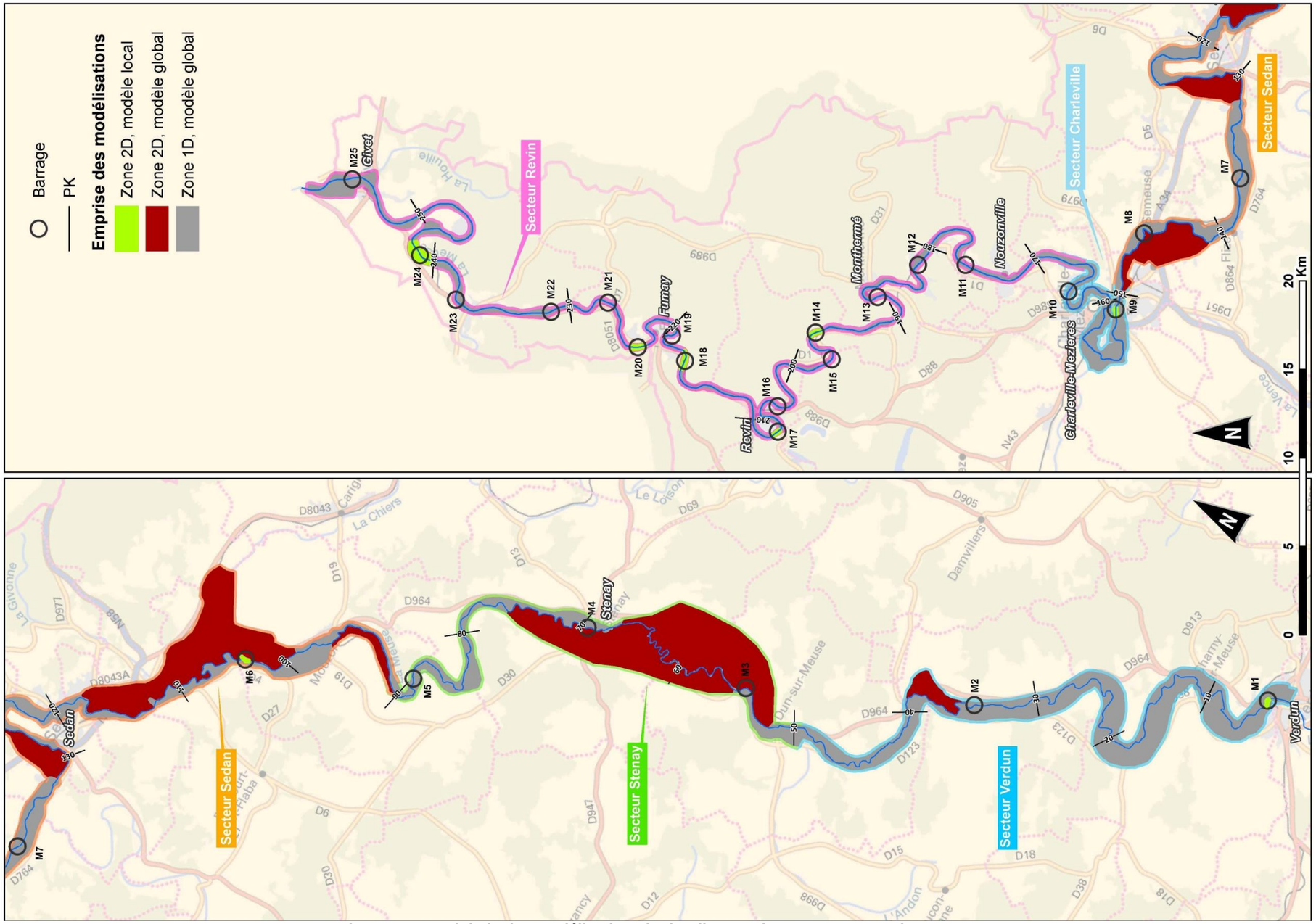


Figure 5 : vue globale des modélisations hydrauliques mises en œuvre sur le secteur

3.3. LES MODELISATIONS MISES EN ŒUVRE

3.3.1. Modélisation globale

Un modèle global a été mis en place de Verdun à Givet. Il est destiné à répondre aux besoins du projet de reconstruction des barrages manuels de la Meuse mais n'a pas vocation à être exploité pour d'autres objectifs. De ce fait, l'attention a principalement été porté sur les éléments pouvant avoir des conséquences hydrauliques vis-à-vis du projet et certains secteurs peuvent être traités de manière plus sommaires lorsqu'ils sont plus éloignés de la zone de projet (fonctionnement fin de certains champs majeurs éloignés des zones de projet par exemple).

L'objectif de cette modélisation est :

- de rendre compte des impacts hydrauliques d'ensemble
- représenter les situations de crues débordantes
- fournir les conditions aux limites des modélisations locales

Les modèles ont été construits sous le logiciel ISIS couplé au code de calcul TUFLOW sur les zones du lit majeur complexes et qui ont été traitées par modélisations bidimensionnelles. Une présentation de ces outils est fournie en annexe. Ce logiciel résout les équations complètes de Barré Saint Venant, et permet de modéliser les différentes singularités rencontrées (seuil, piles, etc.). Sur certains secteurs du lit majeur où les écoulements présentent une complexité particulière (confuence avec la Chiers par exemple), le couplage du code de calcul ISIS (code 1D) avec le code de calcul Tuflow (2D) permet de représenter correctement les phénomènes en jeu.

Les données topographiques utilisées sont celles indiquées au 3.1.2.

3.3.2. Modélisation locale bidimensionnelle

Afin de pouvoir proposer une analyse plus affinée sur certains sites particuliers ou représentatifs d'une typologie de barrage, 8 sites ont fait l'objet de modélisation bidimensionnelles fines.

3.3.2.1. LES 8 SITES RETENUS POUIR LA MODELISATION BIDIMENSIONNELLE

Les critères qui ont prévalu à la selection des 8 sites qui ont fait l'objet de la modélisation locale détaillée 2D sont exposés ci-dessous :

site	commentaires
M1	Le choix de ce site est lié à la proximité du barrage par rapport à des zones d'enjeux importants (zone urbaine de Verdun).
M6	L'implantation du barrage sur 2 bras rend la représentation 1D inadaptée. La modélisation 2D était donc nécessaire pour atteindre une bonne représentativité des phénomènes.
M9	Le choix de ce site est lié à la proximité du barrage par rapport à des zones d'enjeux importants (zone urbaine de Charleville-Mézières).
M14	Ce site a déjà fait l'objet d'une modélisation 2D au stade de l'AVP. Le modèle a repris et affiné dans le cadre de la présente étude. Lors de l'AVP, ce site illustrait les configurations avec microcentrale.
M17	Ce site a déjà fait l'objet d'une modélisation 2D au stade de l'AVP. Le modèle a repris et affiné dans le cadre de la présente étude. lors de l'AVP, ce site illustrait les situations courantes (barrage de largeur moyenne).
M18	Ce site est équipé d'une micro-centrale. Il a fait l'objet d'une modélisation 2D locale à titre d'exemple pour les sites équipés de micro-centrale.
M20	Ce site a déjà fait l'objet d'une modélisation 2D au stade de l'AVP. Le modèle a repris et affiné dans le cadre de la présente étude. Lors de l'AVP, ce site avait été retenu pour l'étude de la phase biseau afin de déterminer les dispositions constructives à mettre en place.
M24	L'implantation du barrage sur 2 bras rend la représentation 1D inadaptée. La modélisation 2D était donc nécessaire pour atteindre une bonne représentativité des phénomènes.

Tableau 13 : critères de sélection des sites de modélisation 2D locale

3.3.2.2. LES CARACTERISTIQUES DES MODELES MIS EN ŒUVRE

Sur les 8 sites indiqués ci-dessus, les caractéristiques de la structure des modèles mis en œuvres sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Modèle	Superficie ha	Distance amont du BA (m)	Distance aval du BA (m)	Nombre de mailles	Nombre de nœuds
M1	3.71	85	315	35619	18053
M6	4.04	200	280	25069	12715
M9	3.57	100	390	47424	24043
M14	9.7	365	415	56147	28380
M17	4.63	140	300	31124	15747
M18	14.01	470	610	85288	43067
M20	11.7	455	340	41297	20935
M24	24.5	430	240	95726	48097

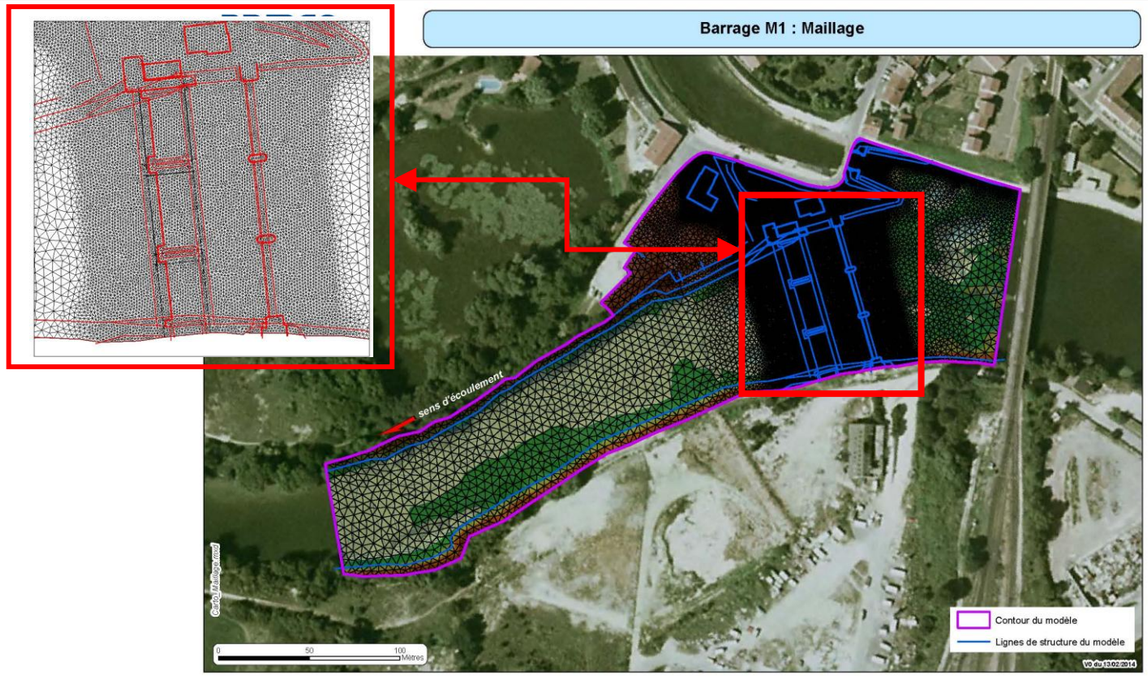
Tableau 14 : Caractéristiques de la structure de la modélisation hydraulique globale

La taille des mailles de calcul est comprise entre 1 à 5 m afin de tenir compte au plus près des différents éléments de l'état actuel et du projet (piles, culées, passe à poisson, batiments,…).
Les cartes ci-après présente la stucture du maillage sur laquelle s'appuie le calcul 2D.

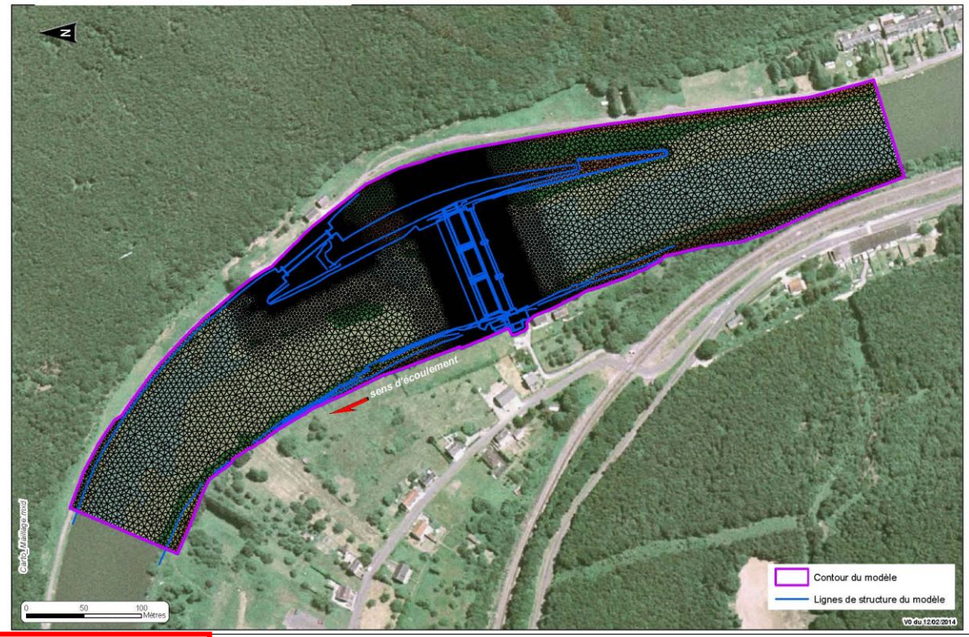
Le maillage est fortement densifié au droit des ouvrages actuel et projeté et s'appuie sur les lignes de structure des principaux éléments structurants du site.
Afin de faciliter l'analyse des impacts entre l'état actuel et l'état projet, le même maillage est utilisé dans les deux cas, celui-ci intégrant donc les lignes de structures associées à chacun des deux ouvrages.
Bien évidemment, les bathymétries sur lequelles ce maillage unique est projeté sont ensuite adaptées à chacune des situations (actuelle, projet, travaux).

ETUDE HYDRAULIQUE SUR LA MEUSE DE VERDUN A LA FRONTIERE BELGE

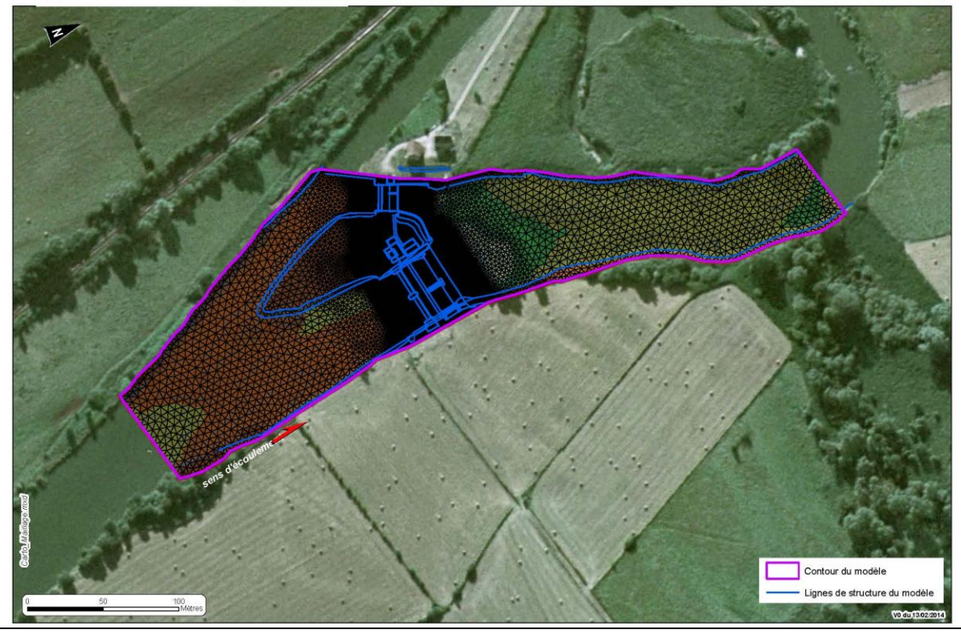
Barrage M1 : Maillage



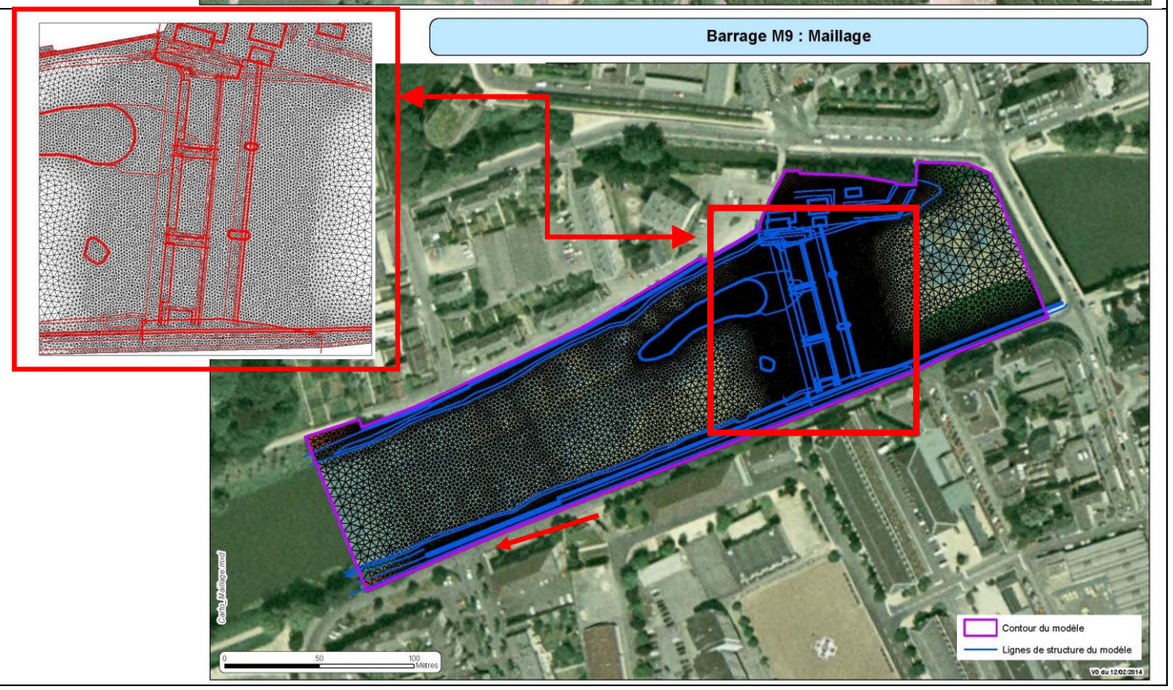
Barrage M14 : Maillage



Barrage M6 : Maillage

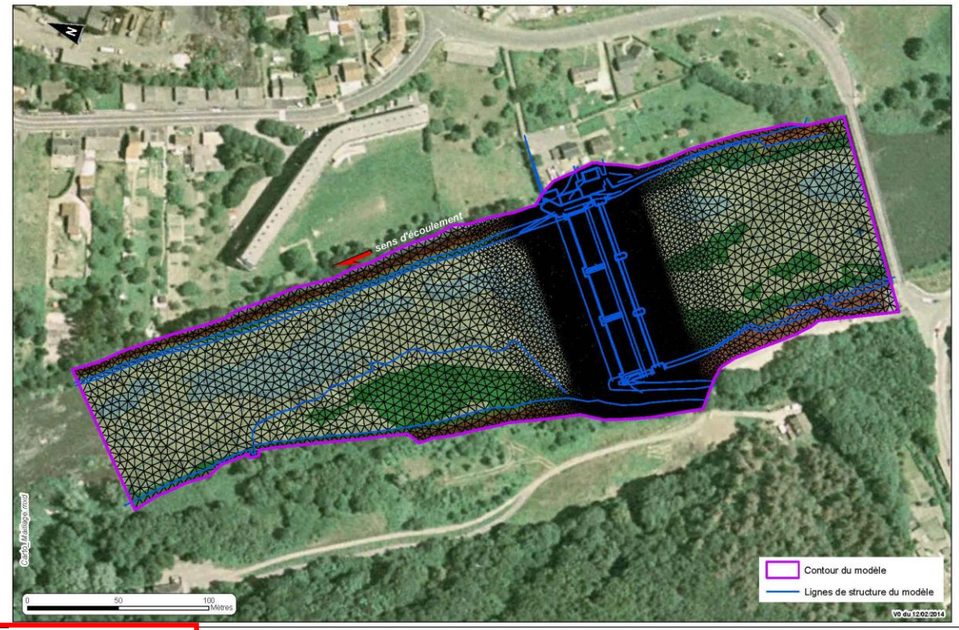


Barrage M9 : Maillage

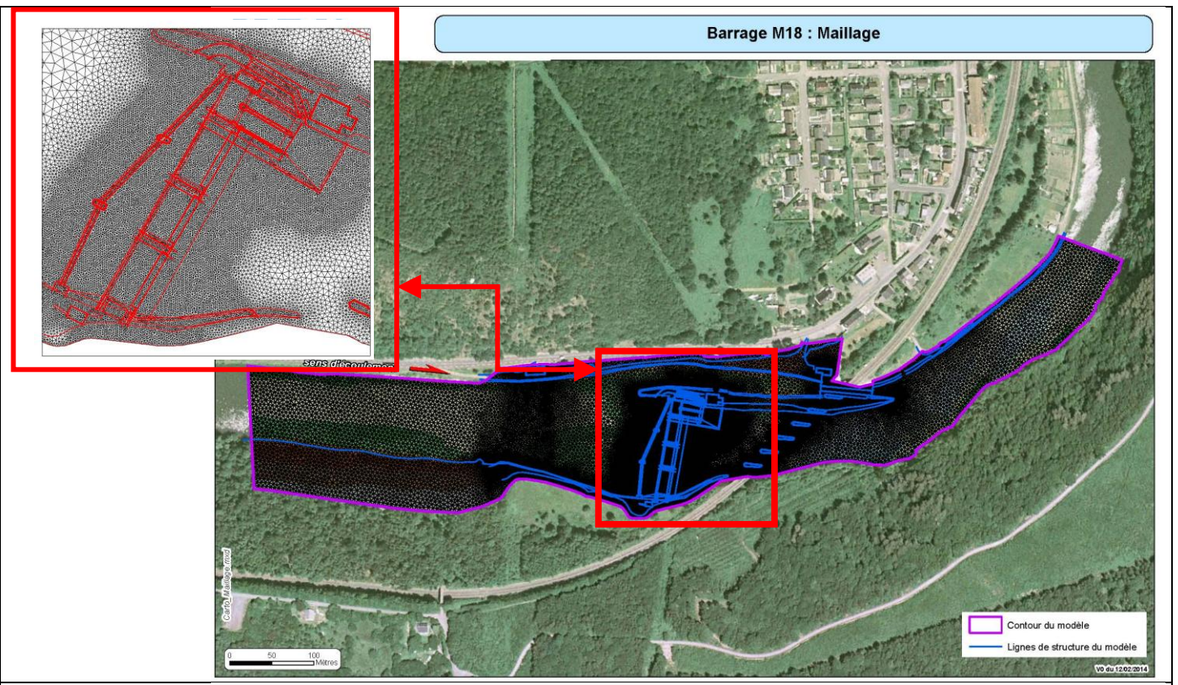


ETUDE HYDRAULIQUE SUR LA MEUSE DE VERDUN A LA FRONTIERE BELGE

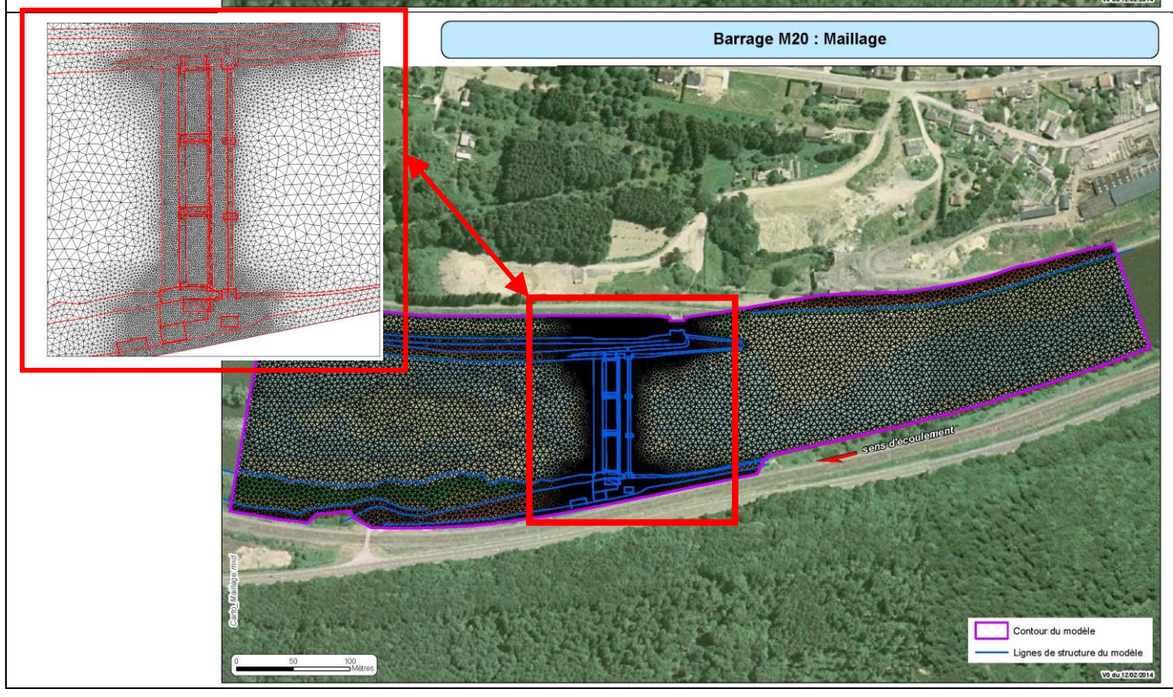
Barrage M17 : Maillage



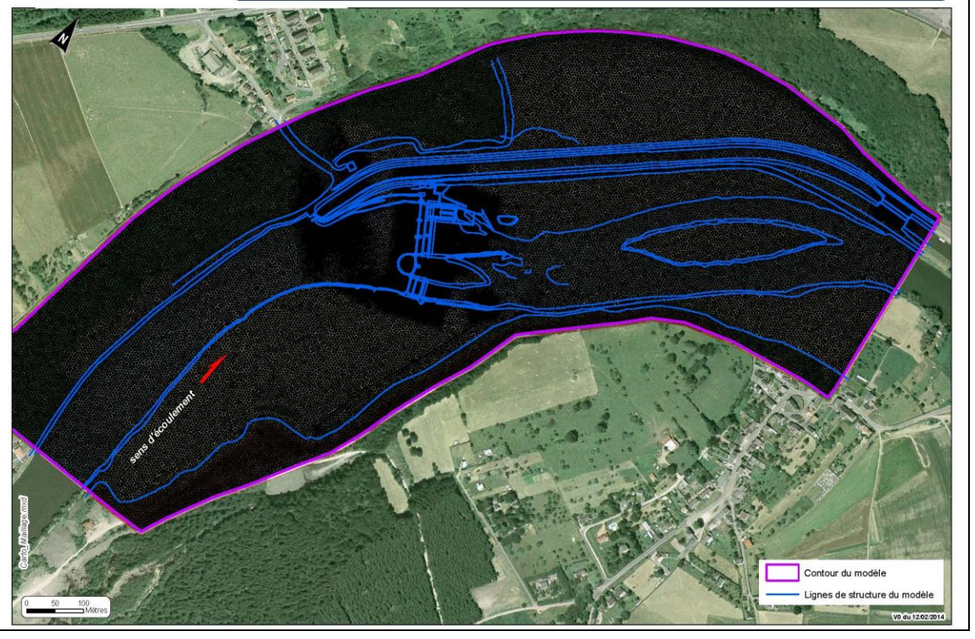
Barrage M18 : Maillage



Barrage M20 : Maillage



Barrage M24 : Maillage



3.4. CALAGE DES MODELES ET CONDITIONS AUX LIMITES

3.4.1. Calage du modèle global

3.4.1.1. CALAGE SUR DES CONDITIONS HYDRAULIQUES DE DEBITS FAIBLES (SITUATION BARRAGE LEVES)

Des campagnes de relevés de niveau d'eau à l'amont et à l'aval des barrages ont été réalisés dans le cadre du projet.
Sur la Meuse, les 2 campagnes complètes en situation « barrages levés » ont été réalisées aux dates suivantes :

- Le 2 octobre 2013
- Le 16 décembre 2013

Pour chacune de ces campagnes de relevés, le modèle hydraulique global a permis de simuler le débit observé aux stations hydrométriques disponibles. Un calage de chacun des biefs à ainsi été réalisé pour ces configurations hydrauliques « barrages levés ».

Les profils en long synthétiques de comparaison entre les niveaux mesurés et calculés sont fournis ci-dessous pour chaque série de mesure :

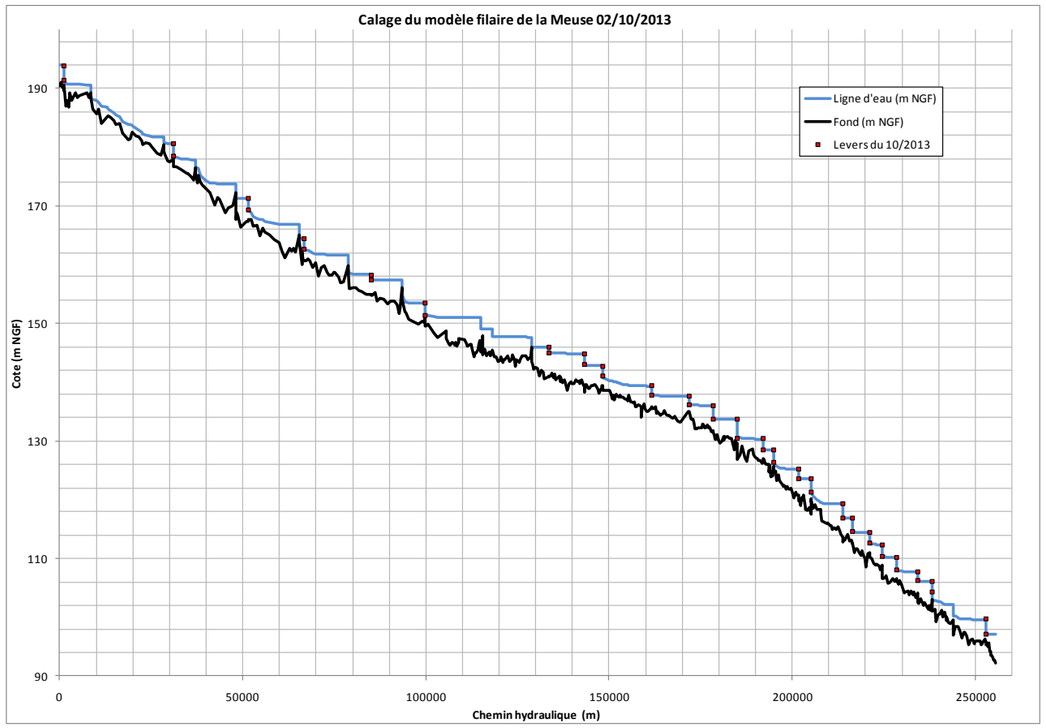


Figure 6 : profil en long de calage sur le relevé de niveaux du 02/10/2013

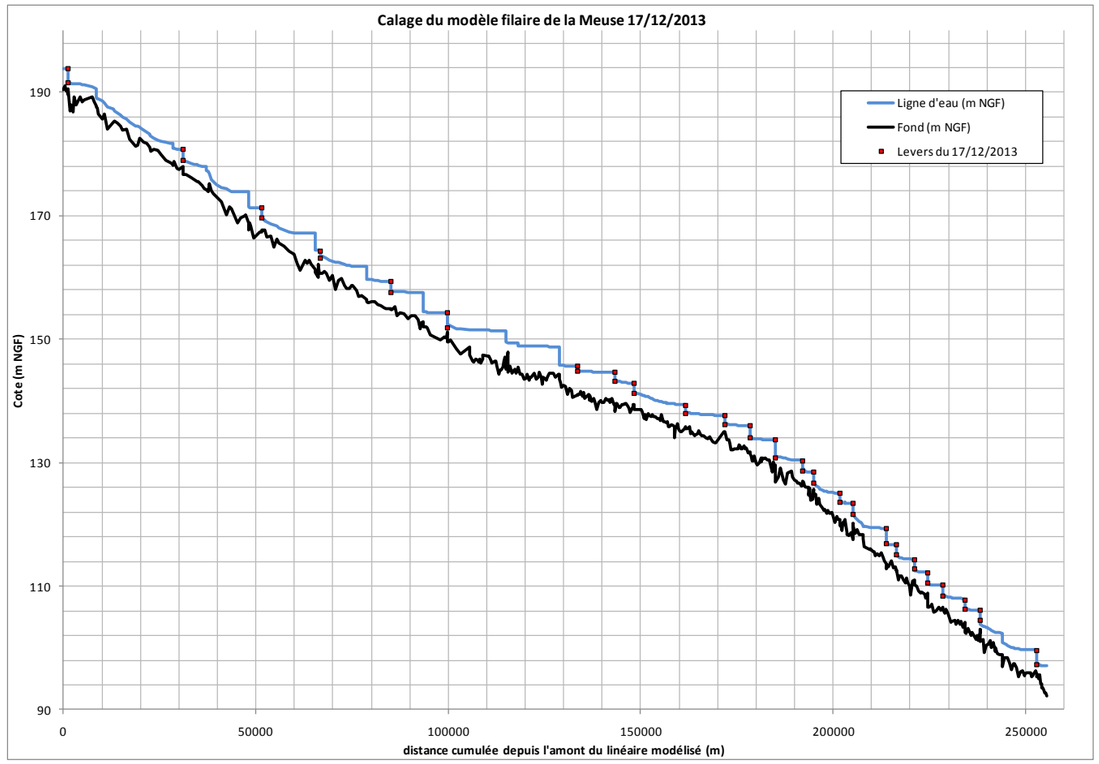


Figure 7 : profil en long de calage sur le relevé de niveaux du 17/12/2013

En situation barrage levé, les biefs sont hydrauliquement indépendants les uns des autres. Le calage consiste à ajuster bief par bief les coefficients de rugosité (en restant dans une gamme de valeurs cohérente avec les caractéristiques du lit du cours d'eau) afin de retrouver la cote aval du barrage amont (la cote amont du barrage aval étant une donnée mesurée).

Les 2 figures présentées ci-avant montrent une bonne adéquation entre les mesures et le calcul et permettent de confirmer le calage sur les faibles débits.

3.4.1.2. CALAGE SUR LES CRUES HISTORIQUES (SITUATION BARRAGES EFFACES)

Les graphiques ci-après présente les profils en long de calage pour les crues de référence sur leurs secteurs respectifs (1983 à l'amont et 1995 à l'aval).

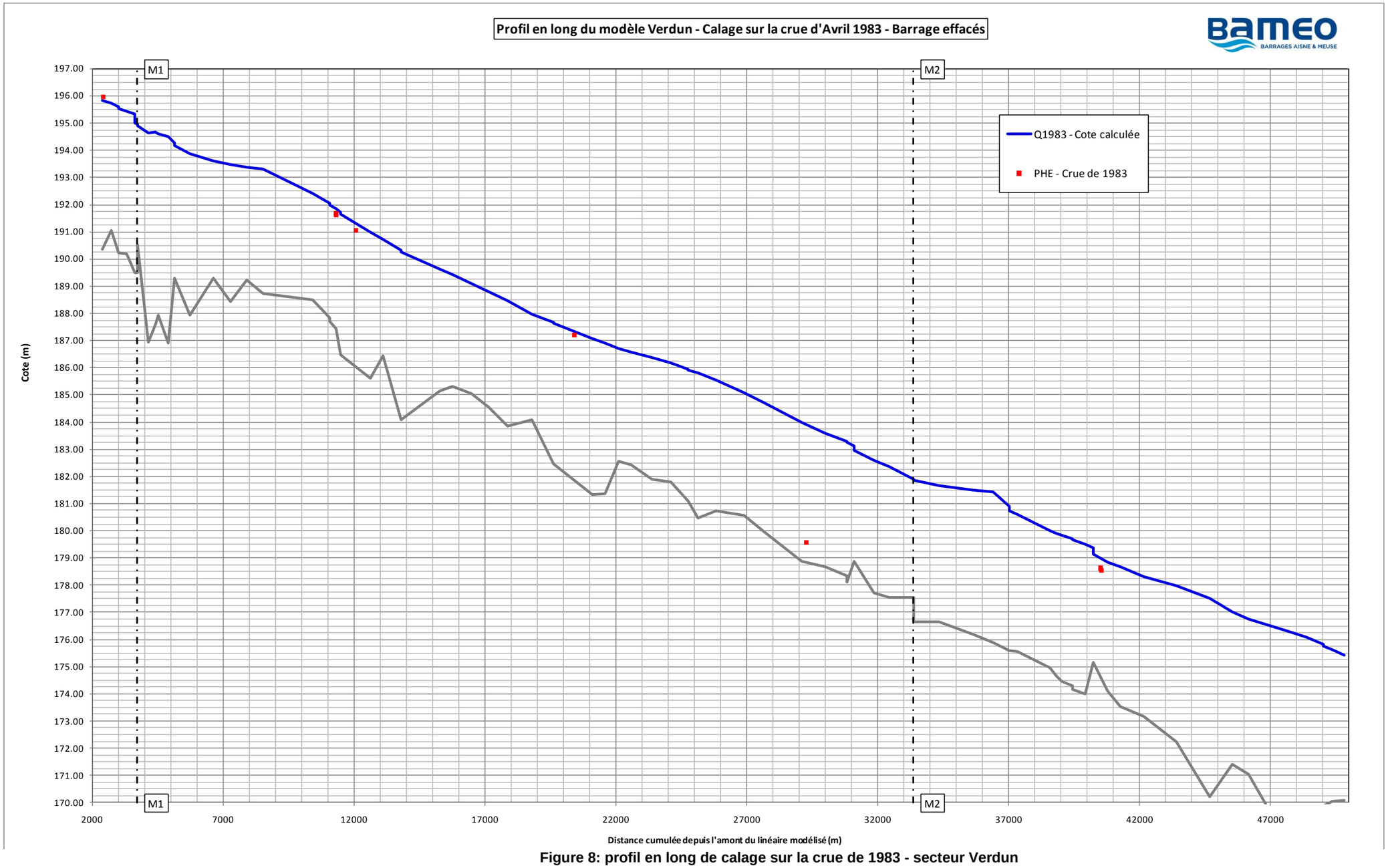


Figure 8: profil en long de calage sur la crue de 1983 - secteur Verdun

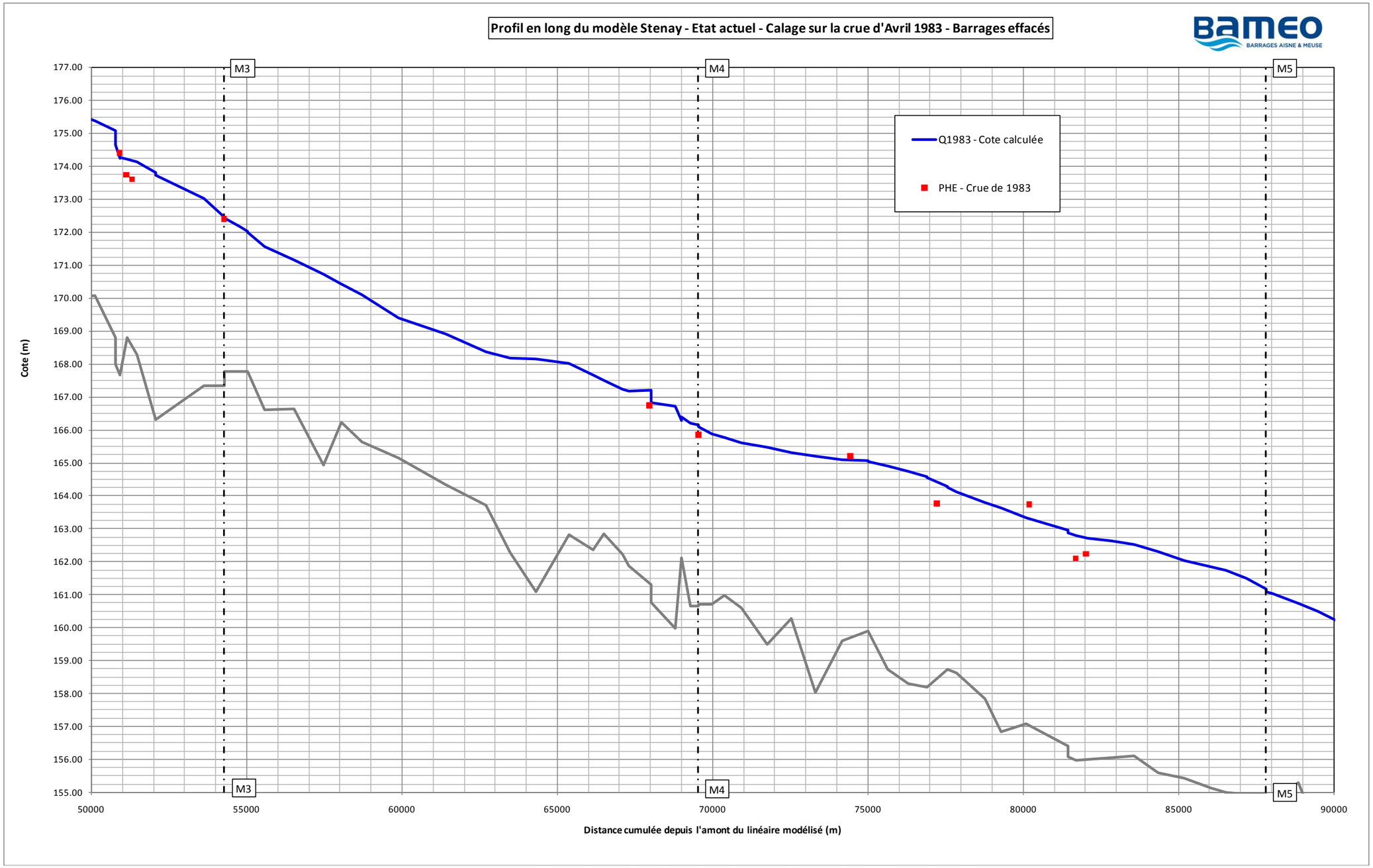


Figure 9: profil en long de calage sur la crue de 1983 - secteur Stenay

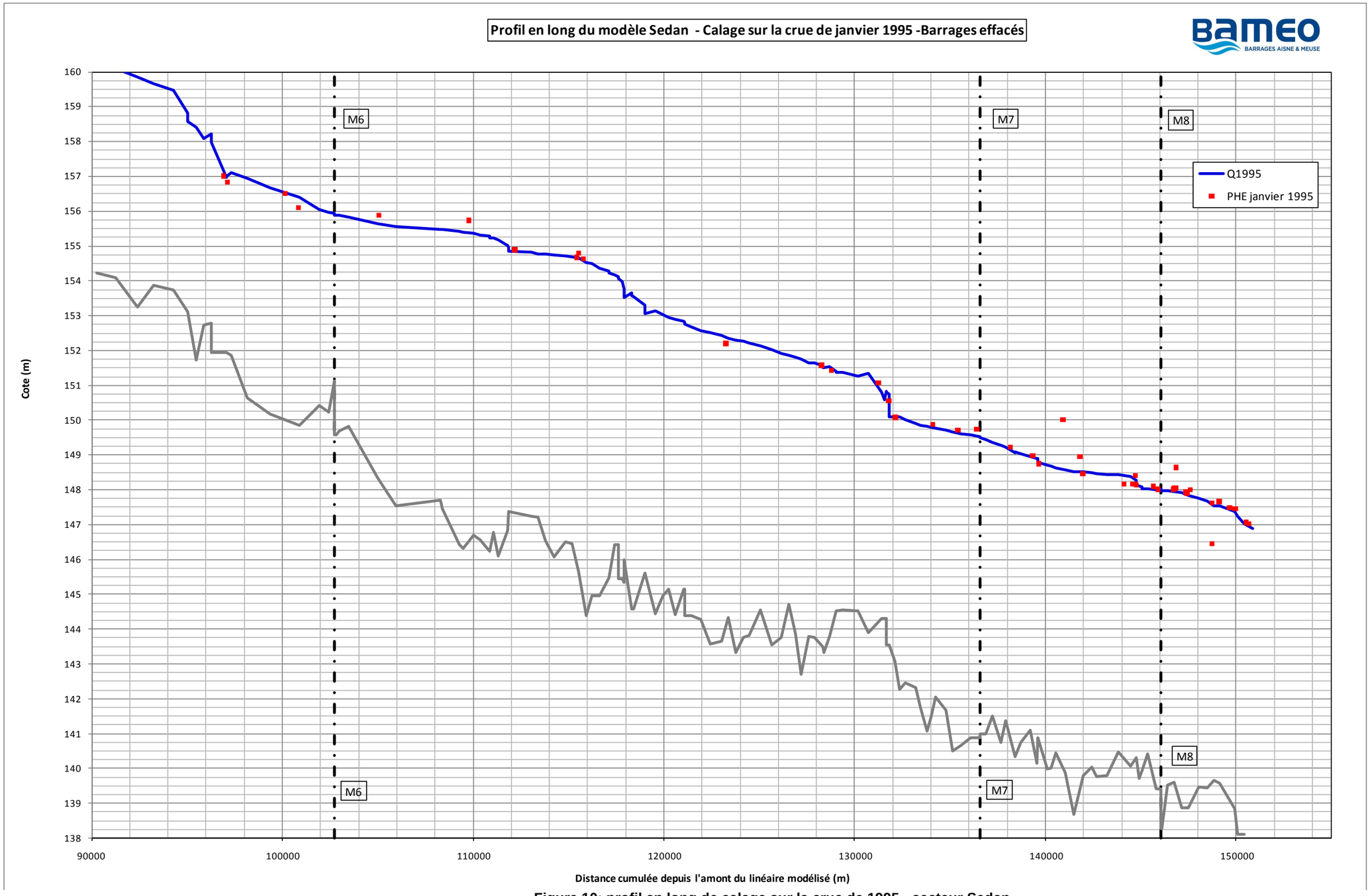


Figure 10: profil en long de calage sur la crue de 1995 - secteur Sedan

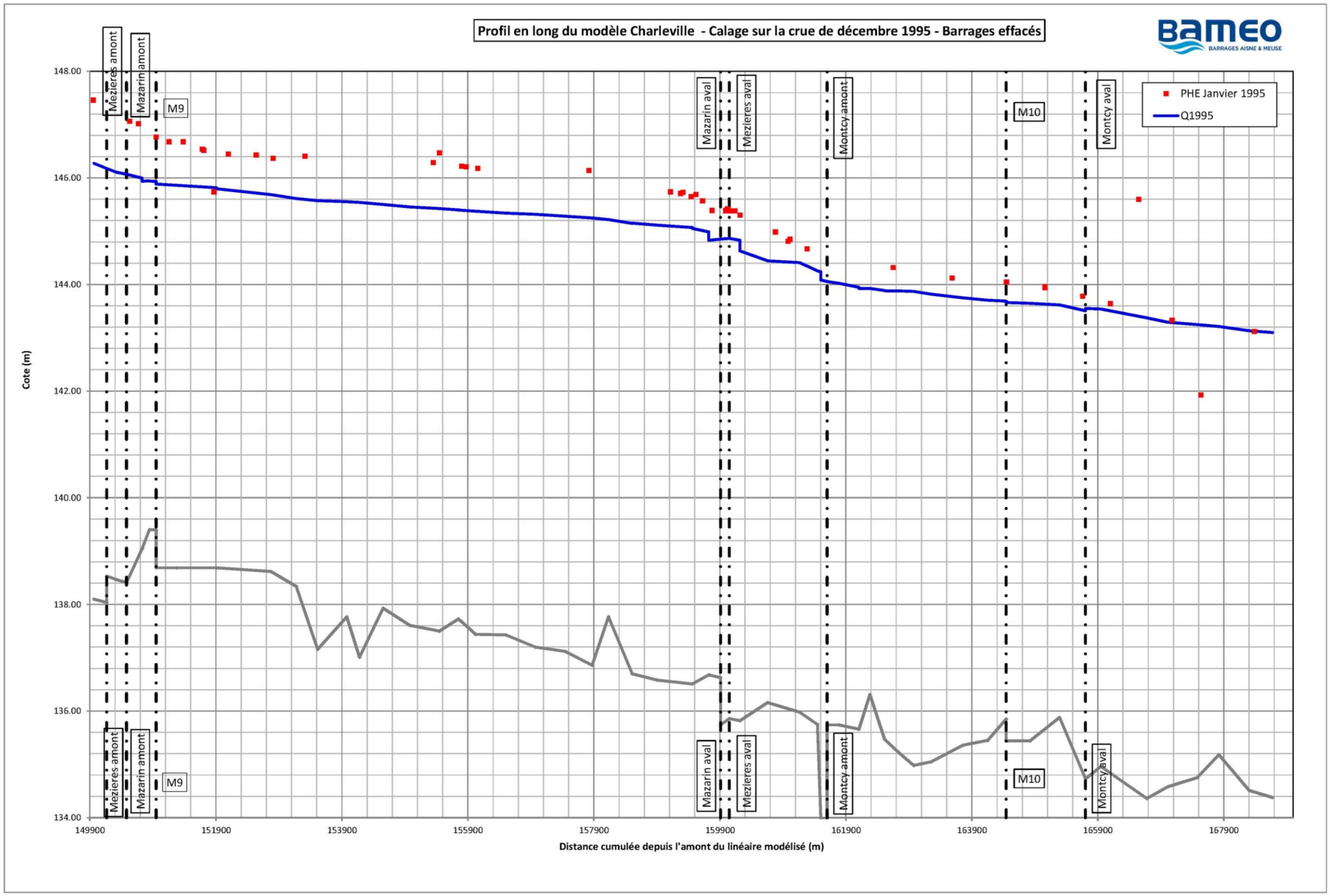

Profil en long du modèle Charleville - Calage sur la crue de décembre 1995 - Barrages effacés
PHE Janvier 1995
Q1995
Mezieres amont
Mazarin amont
M9
Mazarin aval
Mezieres aval
Montcy amont
M10
Montcy aval
Cote (m)
148.00
146.00
144.00
142.00
140.00
138.00
136.00
134.00
149900
151900
153900
155900
157900
159900
161900
163900
165900
167900
Distance cumulée depuis l'amont du linéaire modélisé (m)

Figure 11: profil en long de calage sur la crue de 1995 - secteur Charleville

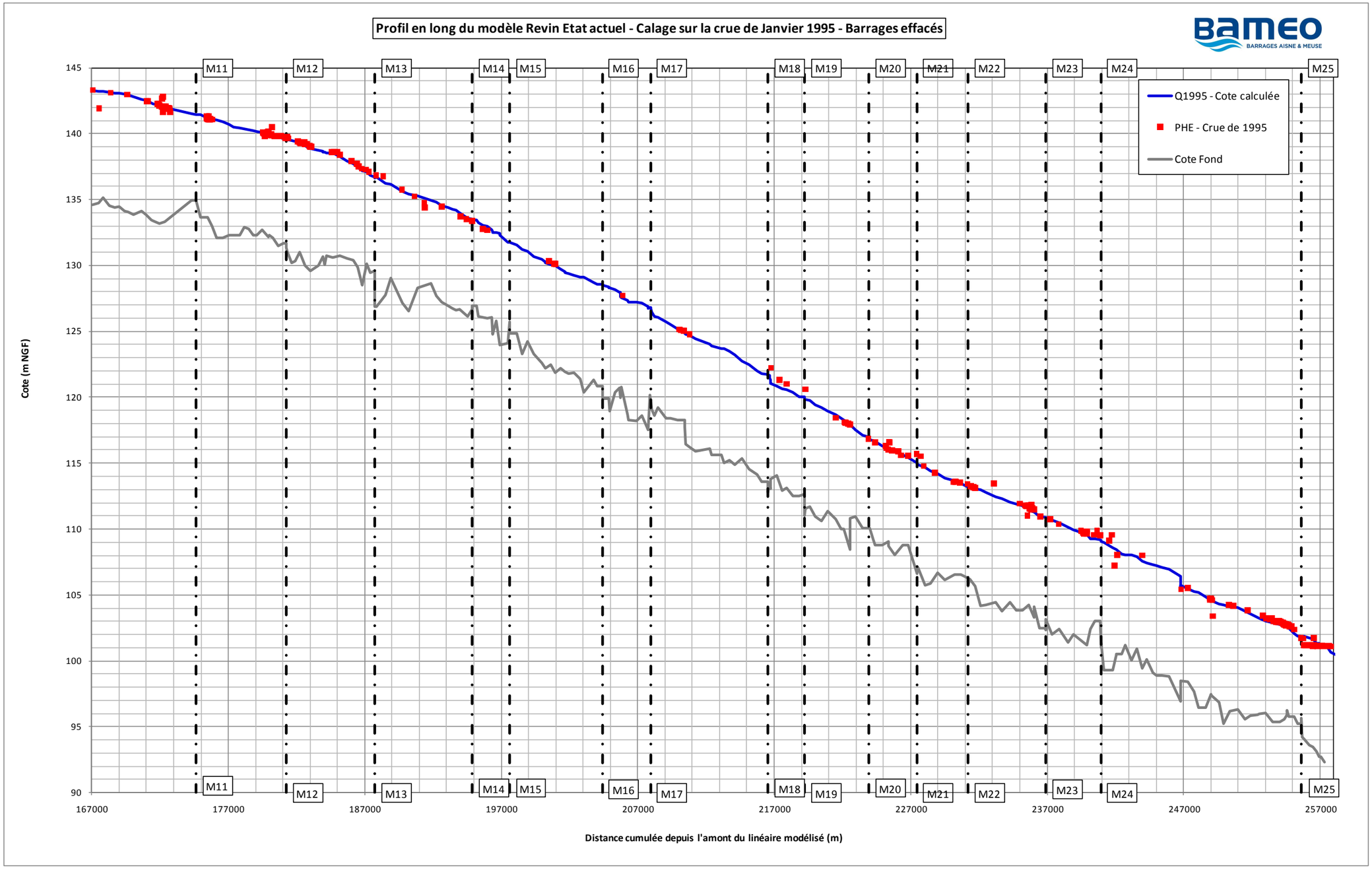


Figure 12: profil en long de calage sur la crue de 1995 - secteur Revin

Commentaires :
Comme indiqué précédemment, les crues historiques de référence (1983 à l'amont de la zone d'étude et 1995 à l'aval) sont bien documentées, notamment en ce qui concerne les niveaux maxima atteints.

Ces crues ont donc servi de base au calage du modèle global. Les figures précédentes présentent les résultats du calage en superposant la ligne d'eau simulée aux niveaux maxima atteints. Les résultats du calage sont très satisfaisants avec un écart entre les cotes observées et les cotes simulées généralement inférieures à 20 cm.

NB : Sur le secteur de Charleville, la configuration géométrique actuelle contenue dans le modèle n'est plus celle qui existait au moment de la crue de 1995. En effet, ont été réalisés depuis des aménagements sur les 3 coupures du secteur qui ont eu pour effet d'augmenter la capacité hydraulique de ces coupures. Les niveaux calculés par la modélisation, dans la configuration géométrique actuelle, sont donc logiquement inférieurs aux repères de crue. La pente de la ligne ainsi que l'adéquation du calcul avec les observations à l'aval de la zone influencée par les travaux permet néanmoins de confirmer la bonne représentativité du modèle.

3.4.2. Paramètres des modèles locaux

Les coefficients de rugosité retenus dans les modèles 2D locaux sont pris identiques à ceux du modèle global sur lequels des calages ont été réalisés.

3.4.3. Conditions aux limites du modèle global

La condition limite aval du modèle hydraulique global est constituée par la courbe de tarage décrite au 3.1.4.

Les conditions limites amont sont constituées par les hydrogrammes injectés dans le modèle pour chacune des crues simulées et détaillés au chapitre 2.

3.4.4. Conditions aux limites des modèles locaux

Les conditions limites aval des modèles 2D locaux sont constituées par les courbes de tarage extraites du modèle global 1D au niveau de l'extrémité aval des modèles 2D en question.

Les conditions limites amont des modèles 2D locaux sont quant à elles constituées par la série de débits correspondant aux scénarios hydrologique de référence indiqués au §2.2.

3.5. PRESENTATION DES CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES EN SITUATION ACTUELLE, PROJET ET EN PHASE TRAVAUX

3.5.1. Description géométrique des barrages en situation actuelle et projet

Les caractéristiques hydrauliques des barrages concernés par le projet et prises en compte dans les modélisations hydrauliques présentées par la suite sont synthétisés dans le tableau ci-dessous.

		Situation actuelle									situation projet								
N° barrage	Nom du barrage	Nb passes	Largeur totale des passes (m)	largeur passe1 (m)	largeur passe2 (m)	largeur passe3 (m)	largeur passe4 (m)	largeur passe5 (m)	commentaires	Cote radier passes actuelles (NGF)	largeur déversante min	largeur déversante moy	largeur déversante Sup	cotes radier projet (NGF)	écart sur radier (/existant)	Cmin	Cmax	RN amont projet	PHEC (NGF)
M1	Barrage Belleville	3	72.90	24.30	24.30	24.30			- passe à fermettes : 24,30 m - passe à fermettes : 24,30 m - passe à fermettes : 24,30 m	191.86	67.80	70.07	72.34	191.66	-0.20	193.68	194.18	193.93	194.80
M2	Barrage Sivry	2	43.60	21.80	21.80				- passe à fermettes : 21,80 m - passe à fermettes : 21,80 m	178.58	42.00	43.37	44.75	178.55	-0.03	180.36	180.86	180.61	180.90
M3	Barrage Sassey	2	50.20	25.10	25.10				- passe à fermettes : 25,10 m - passe à fermettes : 25,10 m	169.28	46.80	48.24	49.68	169.18	-0.10	171.09	171.59	171.34	172.43
M4	Barrage de Stenay	2	39.20	19.60	19.60				- passe à fermettes : 19,60 m - passe à fermettes : 19,60 m	162.25	37.80	39.21	40.61	162.22	-0.03	164.08	164.58	164.33	165.47
M5	Barrage Alma	2	52.45	26.25	26.20				- passe à fermettes : 26,25 m - passe à fermettes : 26,20 m	157.82	51.60	52.93	54.27	157.82	0.00	159.57	160.07	159.82	161.03
M6	Barrage de Villers-Devant-Mouzon	3	52.49	17.40	17.40	17.69			- barrage gonflable: 17,69 m - passe à fermettes : 17,40 m - passe à fermettes : 17,40 m	152.13 / 152.66	37.80	39.18	40.57	152.18 / 152.66	0.00	154.01	154.51	154.26	155.83
M7	Barrage Dom le Mesnil	3	72.00	24.00	24.00	24.00			- passe à fermettes : 24 m - passe à fermettes : 24 m - passe à fermettes : 24 m	143.89	72.60	74.84	77.08	143.89	0.00	145.88	146.38	146.13	146.97
M8	Barrage Romery	3	73.30	24.60	24.10	24.60			- passe à fermettes : 24,6 m - passe à fermettes : 24,1 m - passe à fermettes : 24,6 m	142.95	72.60	74.65	76.70	142.95	0.00	144.75	145.25	145.00	148.13
M9	Barrage de Mézières	3	77.00	25.90	25.80	25.30			- passe à fermettes : 25,9 m - passe à fermettes : 25,8 m - passe à fermettes : 25,3 m	141.59	67.80	69.45	71.10	141.39	-0.20	142.79	143.29	143.04	146.71
M10	Barrage Montcy Notre Dame	3	72.45	24.30	24.10	24.05			- passe à fermettes : 24,30 m - passe à fermettes : 24,10 m - passe à fermettes : 24,05 m	137.27	67.80	70.06	72.32	137.20	-0.07	139.21	139.71	139.46	144.05
M11	Barrage de Joigny	3	79.00	26.40	26.20	26.40			- passe à fermettes : 26,40 m - passe à fermettes : 26,20 m - passe à fermettes : 26,40 m	135.68	77.40	79.39	81.38	135.68	0.00	137.42	137.92	137.67	141.57
M12	Barrage de Lévrezy	3	79.20	26.20	26.20	26.80			- passe à fermettes : 26,20 m - passe à fermettes : 26,20 m - passe à fermettes : 26,80 m	133.51	77.40	79.88	82.36	133.51	0.00	135.74	164.24	135.99	139.67
M13	Barrage de Monthermé	6	90.00						6 passes de 15m	130.02	100.8	100.8	100.8	130.02	0	133.35	133.85	133.6	137.42
M14	Barrage de la [petite] Commune	3	88.80	29.60	29.60	29.60			- passe à fermettes : 29,60 m - passe à fermettes : 29,60 m - passe à fermettes : 29,60 m	127.89	87.00	89.52	92.04	127.89	0.00	130.16	160.66	130.41	133.40

		Situation actuelle									situation projet								
N° barrage	Nom du barrage	Nb passes	Largeur totale des passes (m)	largeur passe1 (m)	largeur passe2 (m)	largeur passe3 (m)	largeur passe4 (m)	largeur passe5 (m)	commentaires	Cote radier passes actuelles (NGF)	largeur déversante min	largeur déversante moy	largeur déversante Sup	cotes radier projet (NGF)	écart sur radier (/existant)	Cmin	Cmax	RN amont projet	PHEC (NGF)
M15	Barrage de Dames de Meuse	3	85.20	28.40	28.40	28.40			- passe à fermettes : 28,40 m - passe à fermettes : 28,40 m - passe à fermettes : 28,40 m	125.94	82.20	84.78	87.36	125.91	-0.03	128.24	128.74	128.49	131.62
M16	Barrage d'Orzy	3	95.10	31.70	31.70	31.70			- passe à fermettes : 31,70 m - passe à fermettes : 31,70 m - passe à fermettes : 31,700 m	123.01	87.00	89.33	91.66	122.87	-0.14	124.95	125.45	125.20	128.51
M17	Barrage de Saint Nicolas	3	88.20	29.40	29.40	29.40			- passe à fermettes : 29,40 m - passe à fermettes : 39,40 m - passe à fermettes : 29,40 m	121.45	87.00	89.03	91.06	121.45	0.00	123.23	123.73	123.48	126.65
M18	Barrage de Saint Joseph	3	111.93	36.71	36.71	38.50			- passe à fermettes : 38,50 m - passe à fermettes : 38,50 m - passe à fermettes : 38,50 m	116.85	103.20	106.80	110.40	116.75	-0.10	119.20	119.70	119.45	122.24
M19	Barrage d'Uf	3	80.30	26.50	27.50	26.30			- passe à fermettes : 26,50 m - passe à fermettes : 27,50 m - passe à fermettes : 26,30 m	114.4	77.40	79.78	82.16	114.37	-0.03	116.50	117.00	116.75	120.60
M20	Barrage de Vannes-Alcorps	3	95.10	31.70	31.70	31.70			- passe à fermettes : 31,70 m - passe à fermettes : 31,70 m - passe à fermettes : 31,70 m	112.43	91.80	93.85	95.90	112.40	-0.03	114.20	114.70	114.45	116.86
M21	Barrage de Fépin	3	89.45	29.40	30.50	29.55			- passe à fermettes : 29,40 m - passe à fermettes : 30,50 m - passe à fermettes : 29,55 m	110.22	87.00	89.14	91.28	110.20	-0.02	112.09	112.59	112.34	114.78
M22	Barrage de Montigny	4	91.60	22.90	22.90	22.90	22.90		- passe à fermettes : 22,9 m - passe à fermettes : 22,9 m - passe à fermettes : 22,9 m - passe à fermettes : 22,9 m	108.09	91.80	93.90	96.00	108.09	0.00	109.94	110.44	110.19	113.43
M23	Barrage de Mouyon	4	129.00	24.80	24.80	24.80	25.00	29.60	- passe à fermettes : 24,80 m - passe à fermettes : 24,80 m - passe à fermettes : 24,80 m - passe à fermettes : 25 m - déversoir : 29,60 m	105.56	122.40	125.55	128.69	105.50	-0.06	107.61	108.11	107.86	109.82
M24	Barrage de Ham sur Meuse RG (*)	3	78.40	26.90	25.75	25.75			- passe à fermettes : 26,90 m - passe à fermettes : 25,75 m - passe à fermettes : 24,10 m - passe à fermettes : 26,20 m	104.75	77.40	78.82	80.24	104.70	-0.05	105.87	106.37	106.12	109.10
M24	Barrage de Ham sur Meuse RD (*)	1	26.20				26.20		- passe à fermettes : 26,90 m - passe à fermettes : 25,75 m - passe à fermettes : 24,10 m - passe à fermettes : 26,20 m	103.45	25.80	26.69	27.58	103.45	0.00	0.00	0.00	106.12	109.10
M25	Barrage de Givet	8	120.00						8 passes de 15m	96.00	134.40	0.00	0.00	96.00	0.00	99.40	99.90	99.65	102.45

Tableau 15 : caractéristiques géométriques des barrages en état actuel et projet

3.5.2. Vues 3D des 8 sites dans différentes configurations

Pour les sites ayant fait l'objet d'une approche locale détaillée (modélisation bidimensionnelle), les informations ci-dessus sont complétées par une vue en perspective des configurations topographiques actuelles, en situation projet ainsi que pour les différentes phases de chantier. Ces éléments fournissent une vision détaillée des différents éléments constitutifs du projet et de leur importance relative au regard du fonctionnement hydraulique du site.

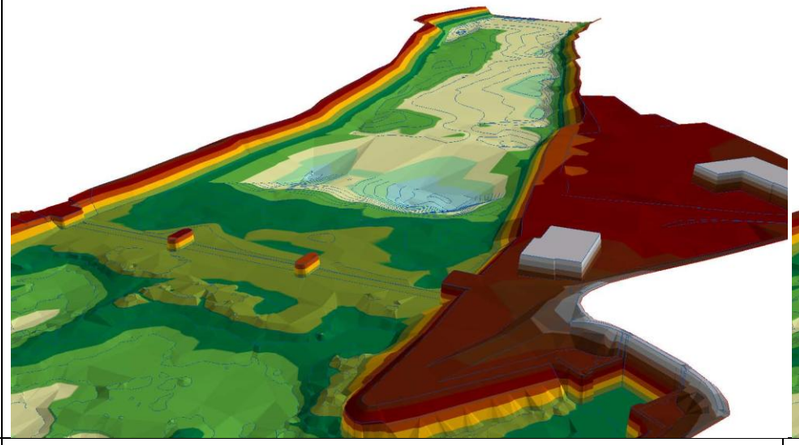
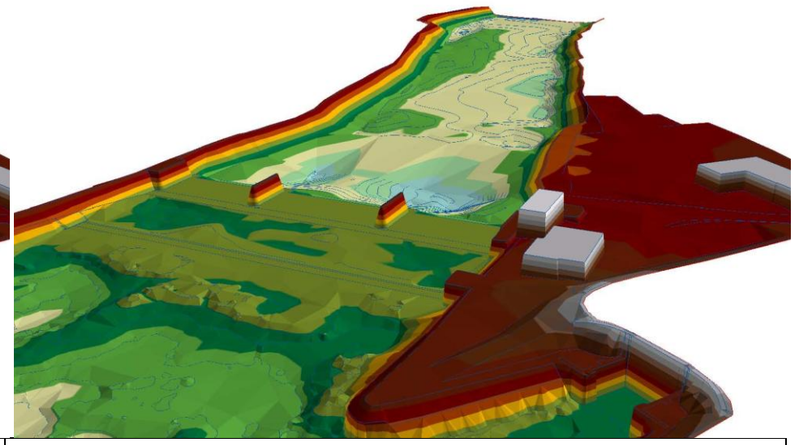
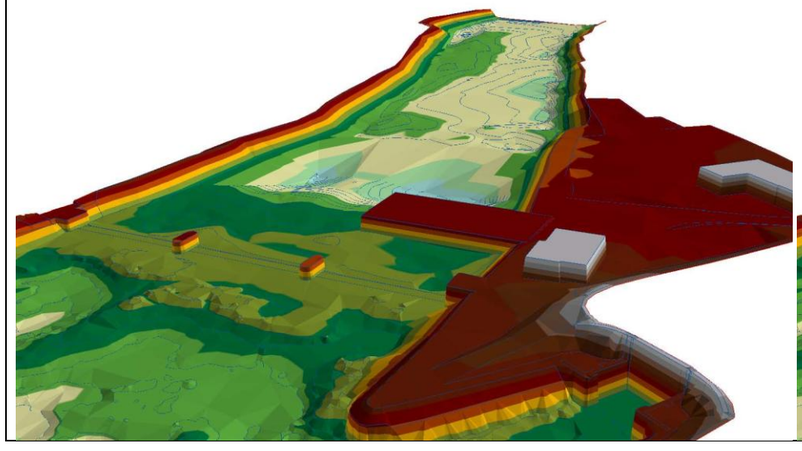
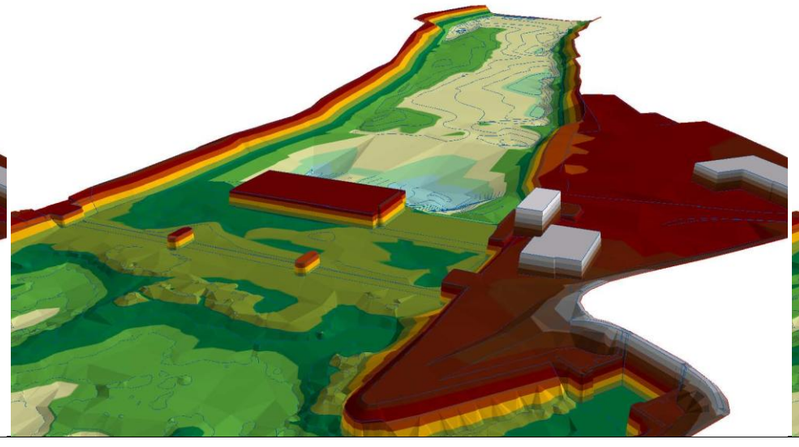
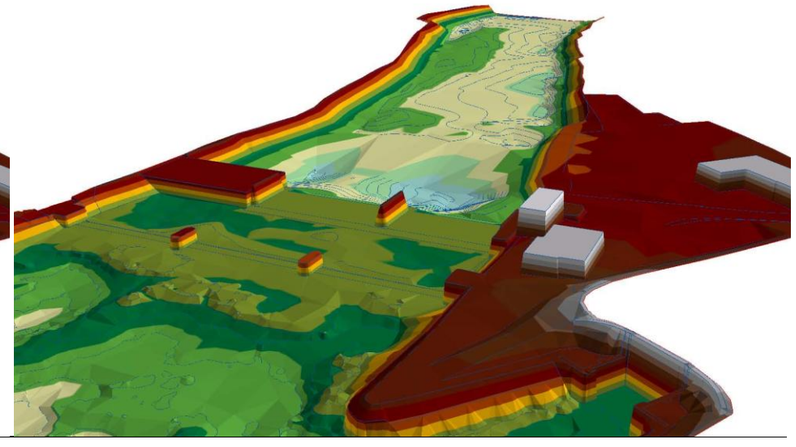
Barrage M1	*Etat actuel*	*Etat projet*
		
Configuration travaux 1 (passe RD batardée)	*Configuration travaux 2 (passe centrale batardée + nouvelle passe RD construite)*	*Configuration travaux 3 (passe RG batardée + nouvelles passes RD et centrale construites)*
		

Figure 13 : vues 3D du site M1 dans les différentes situations (actuelle, projet et travaux)

Barrage M6	*Etat actuel*	*Etat projet*
Configuration travaux 1 (passe RG batardée)	*Configuration travaux 2 (passe RD batardée + nouvelle passe RG)*	

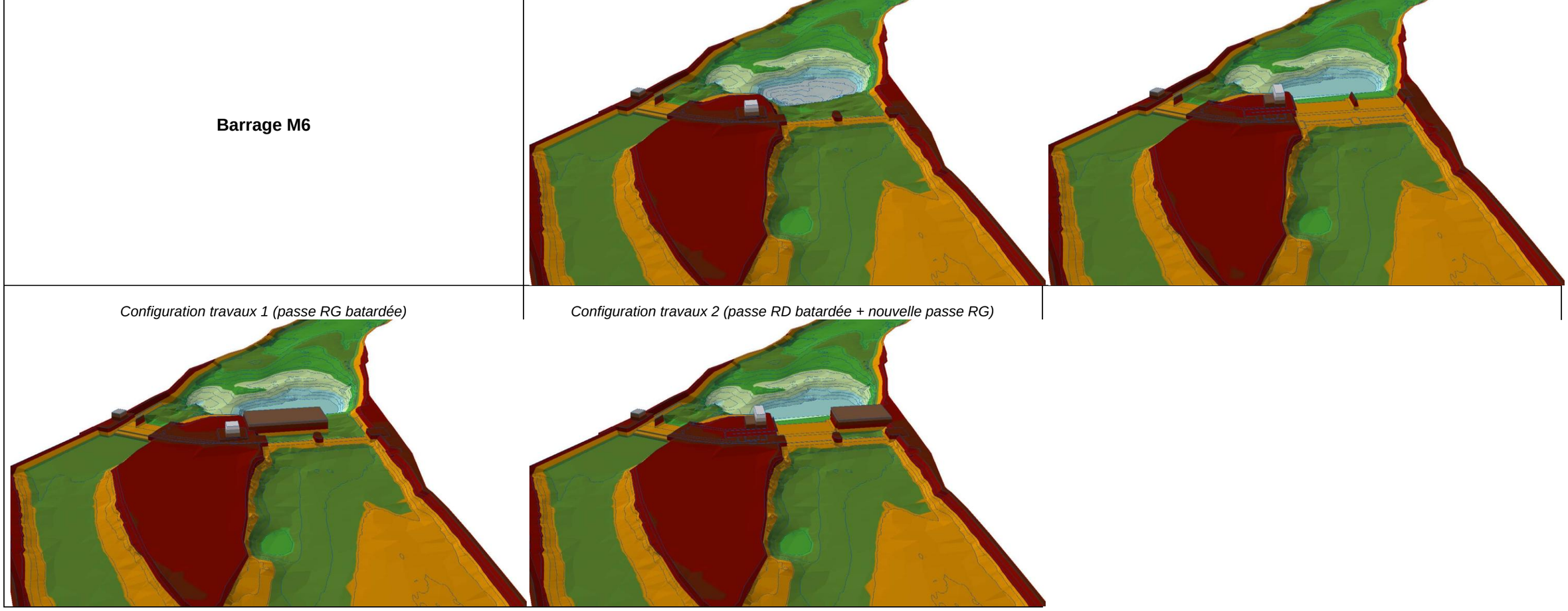


Figure 14 : vues 3D du site M6 dans les différentes situations (actuelle, projet et travaux)

Barrage M9	*Etat actuel*	*Etat projet*
Configuration travaux 1 (passe RD batardée)	*Configuration travaux 2 (passe centrale batardée + nouvelle passe RD construite)*	*Configuration travaux 3 (passe RG batardée + nouvelles passes RD et centrale construites)*

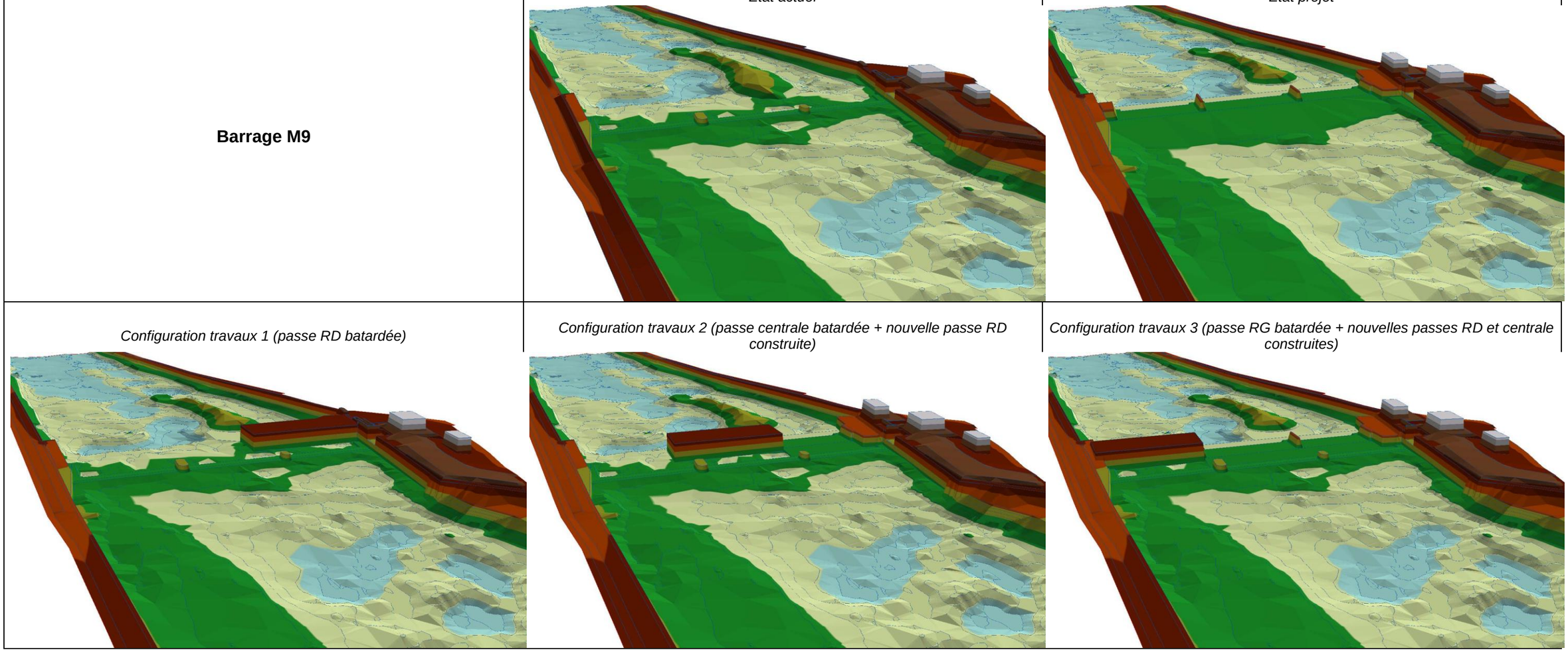
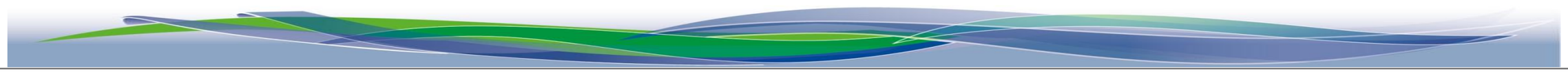


Figure 15 : vues 3D du site M9 dans les différentes situations (actuelle, projet et travaux)



Barrage M14	*Etat actuel*	*Etat projet*
Configuration travaux 1 (passe RG batardée)	*Configuration travaux 2 (passe centrale batardée + nouvelle passe RG construite)*	*Configuration travaux 3 (passe RD batardée + nouvelles passes RG et centrale construites)*

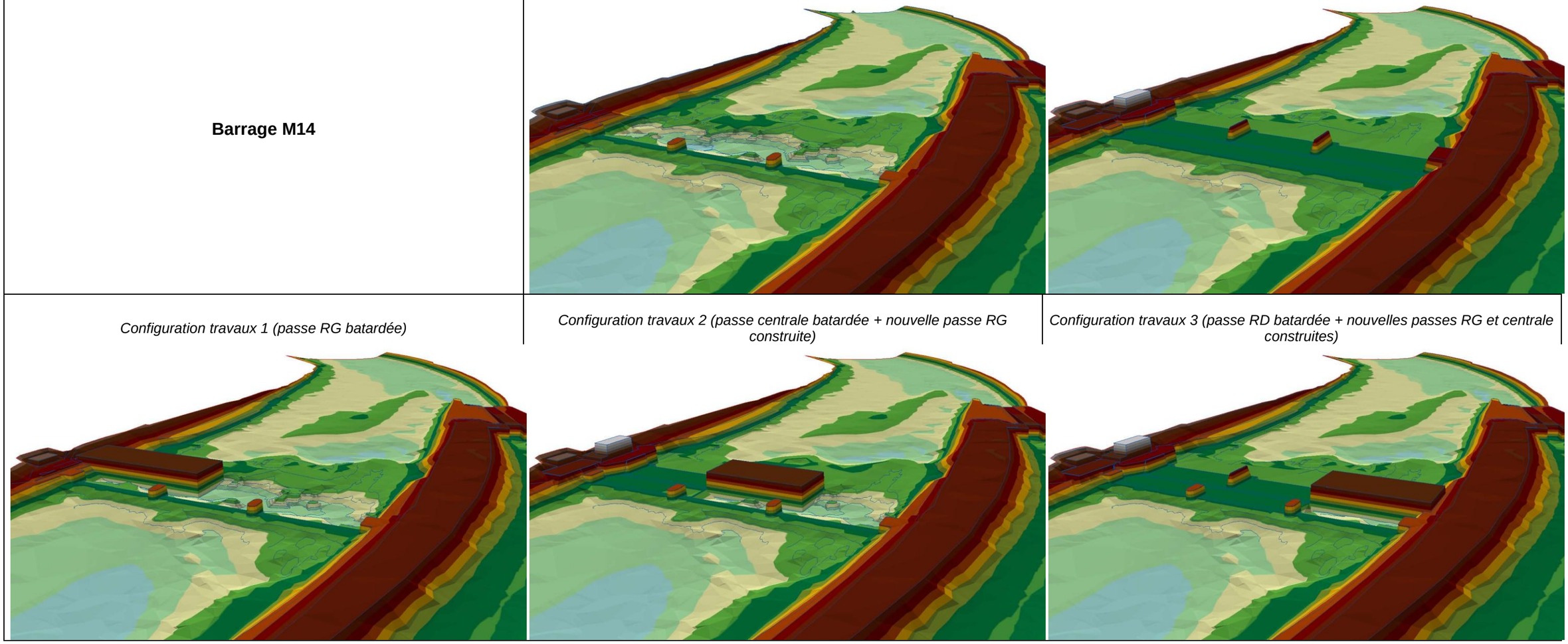
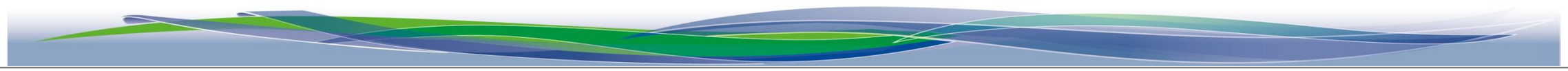


Figure 16 : vues 3D du site M14 dans les différentes situations (actuelle, projet et travaux)



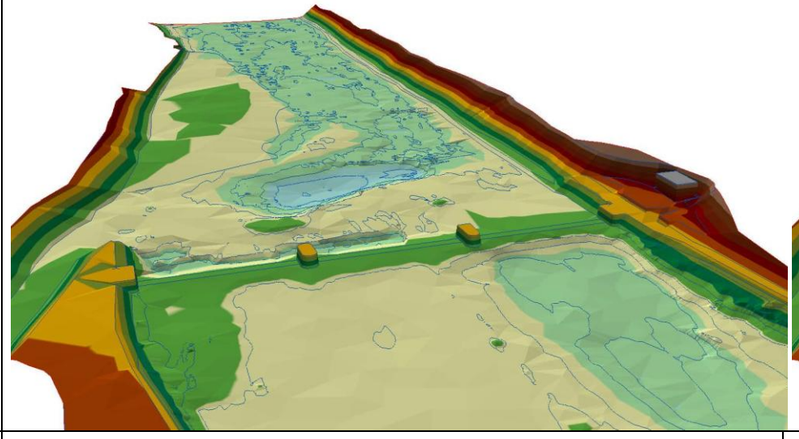
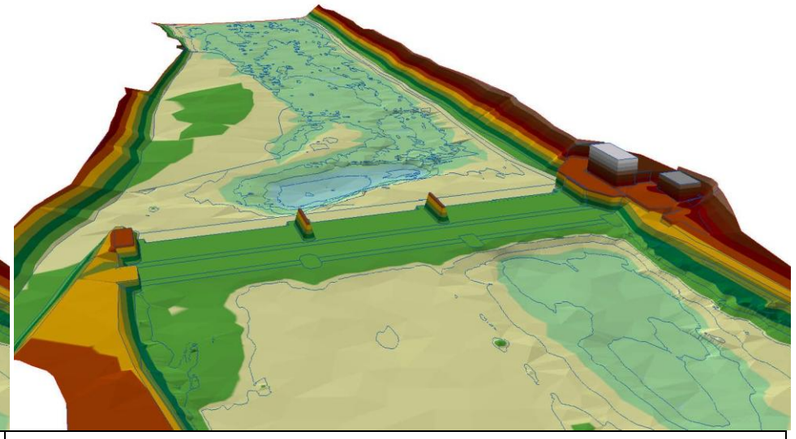
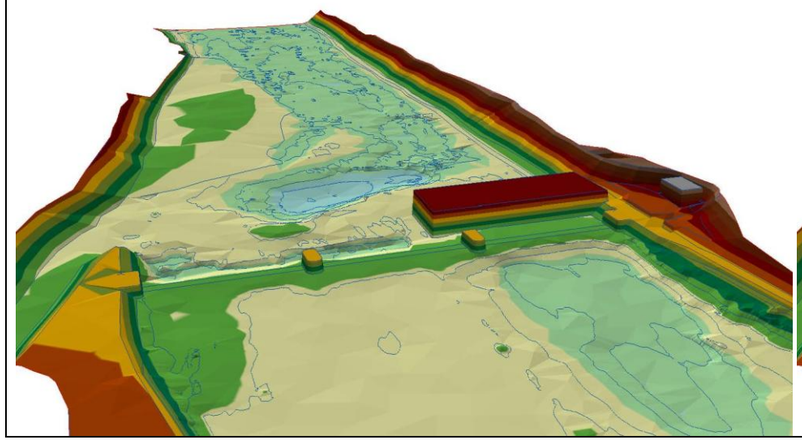
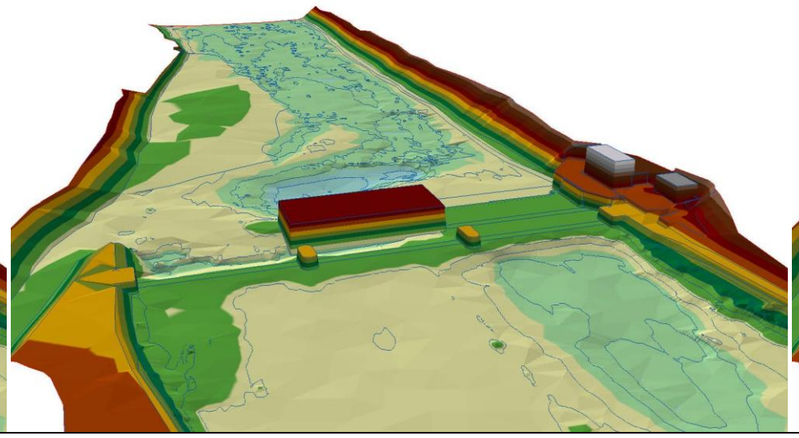
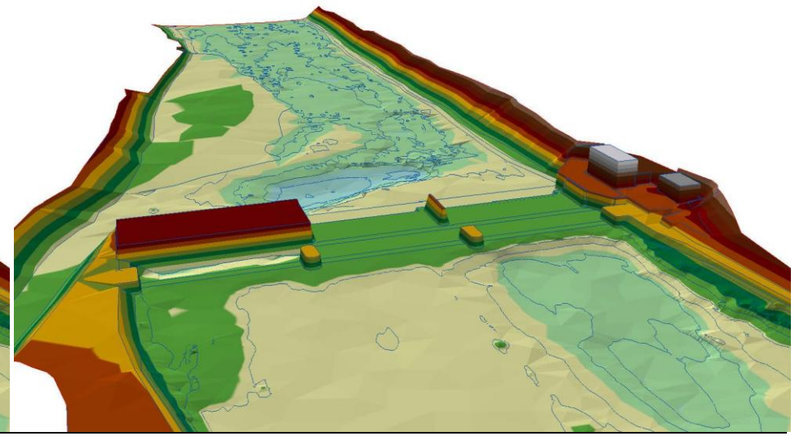
Barrage M17	*Etat actuel*	*Etat projet*
		
Configuration travaux 1 (passe RD batardée)	*Configuration travaux 2 (passe centrale batardée + nouvelle passe RD construite)*	*Configuration travaux 3 (passe RG batardée + nouvelles passes RD et centrale construites)*
		

Figure 17 : vues 3D du site M17 dans les différentes situations (actuelle, projet et travaux)

Barrage M18

Etat actuel	*Etat projet*	*Configuration travaux 0 (VLH batardée)*
Configuration travaux 1 (passe RG batardée)	*Configuration travaux 2 (passe centrale batardée + nouvelle passe RG et VLH construite)*	*Configuration travaux 3 (passe RD batardée + nouvelles passes RG et centrale construites)*

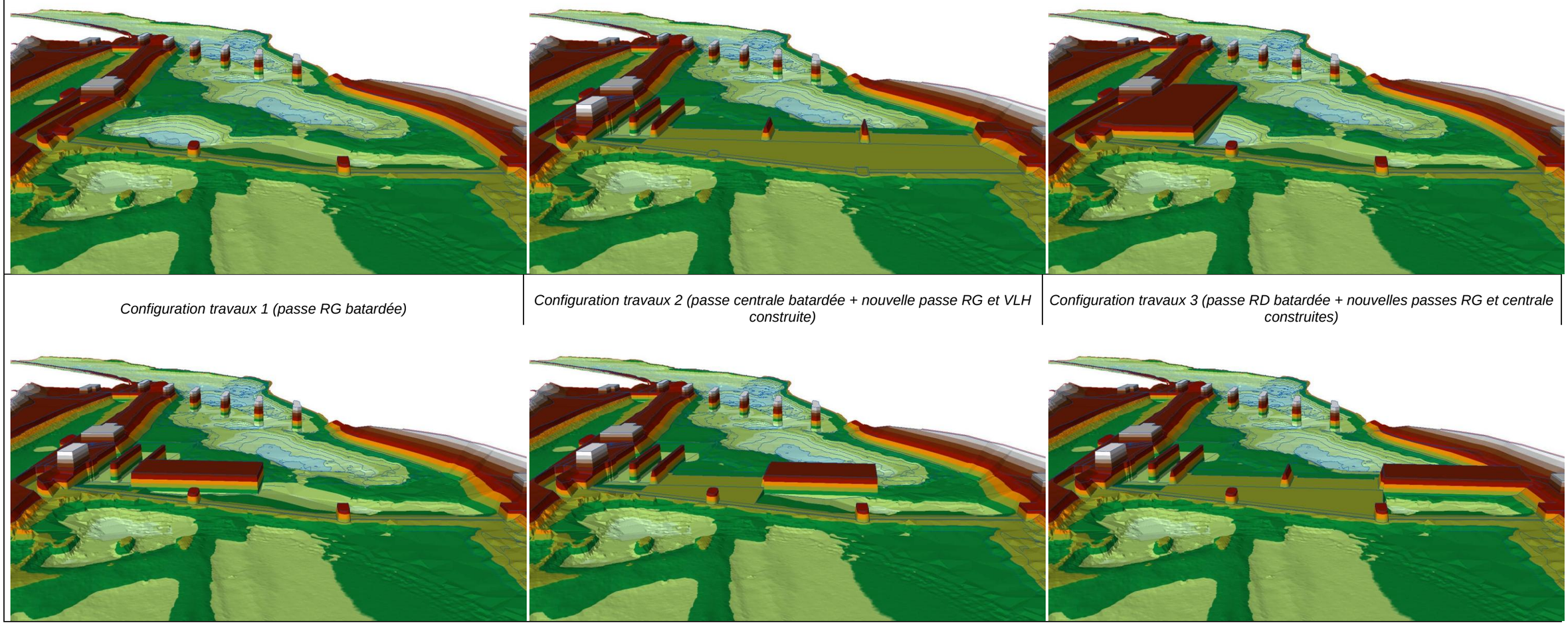


Figure 18 : vues 3D du site M18 dans les différentes situations (actuelle, projet et travaux)

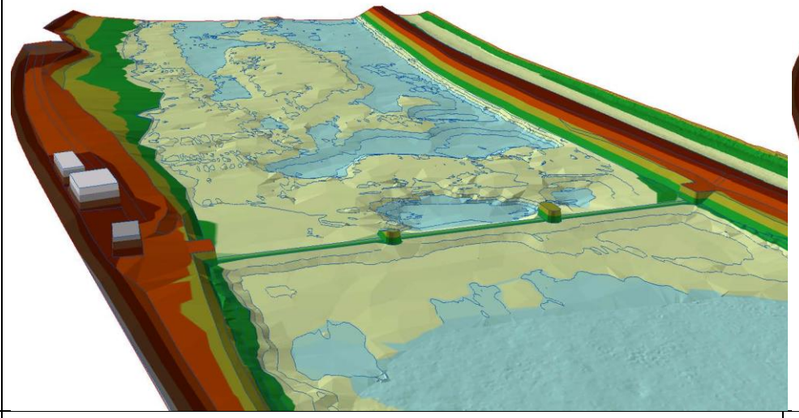
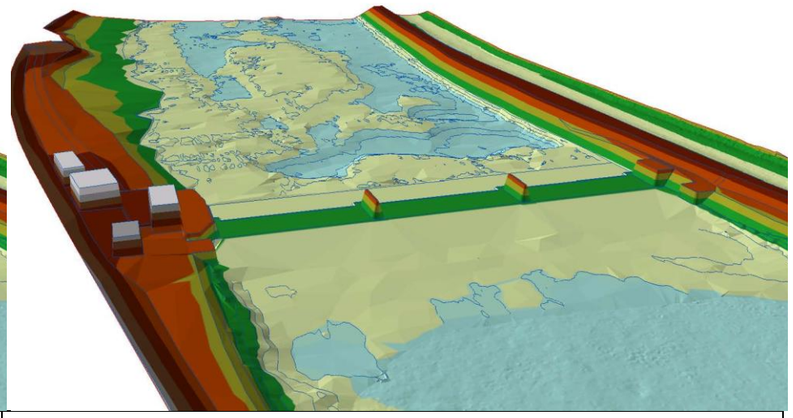
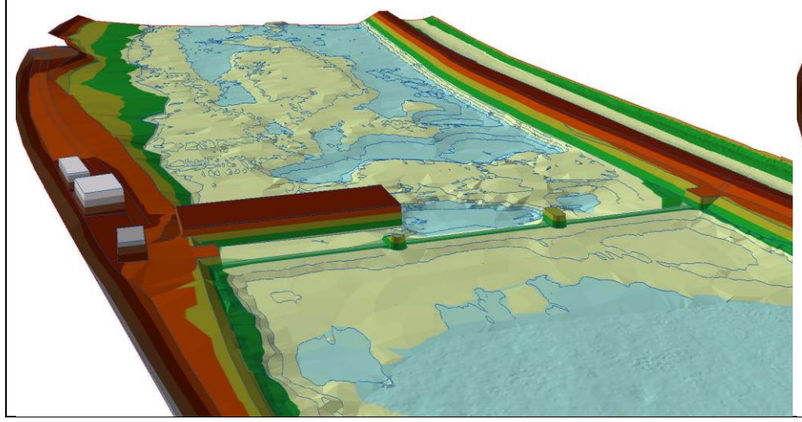
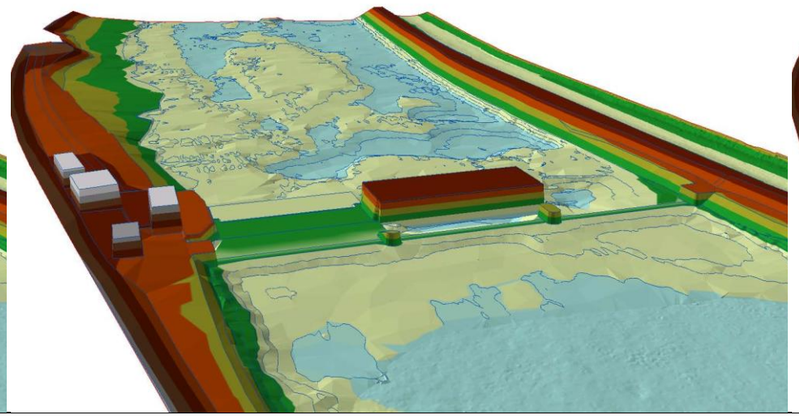
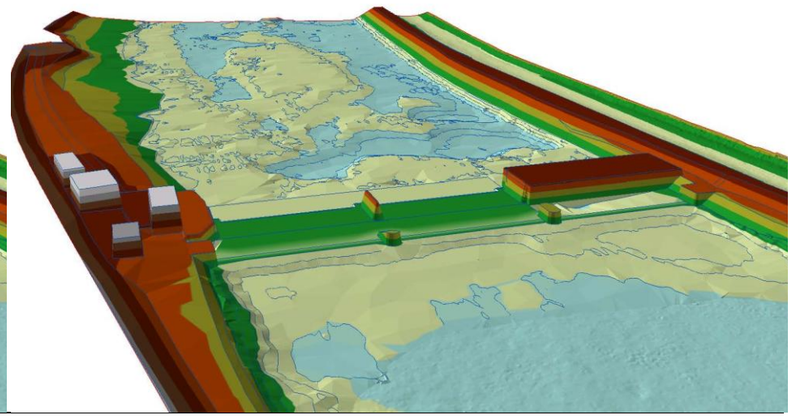
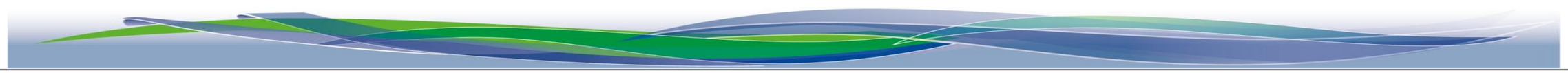
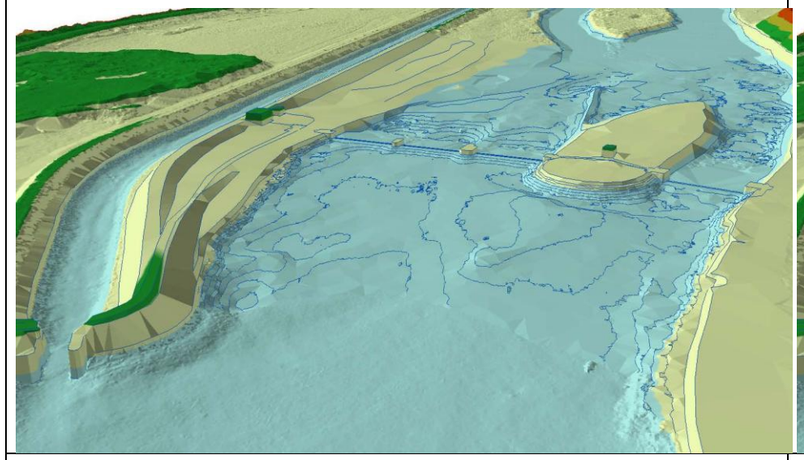
Barrage M20	*Etat actuel*	*Etat projet*
		
Configuration travaux 1 (passe RG batardée)	*Configuration travaux 2 (passe centrale batardée + nouvelle passe RG construite)*	*Configuration travaux 3 (passe RD batardée + nouvelles passes RG et centrale construites)*
		

Figure 19 : vues 3D du site M20 dans les différentes situations (actuelle, projet et travaux)

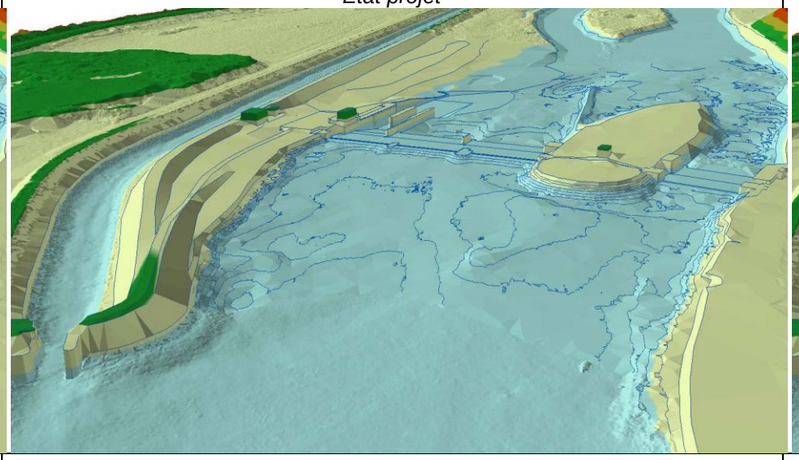


Barrage M24

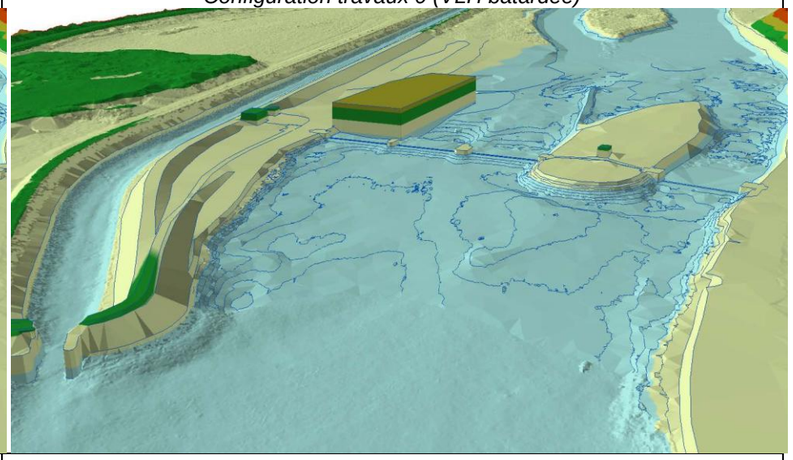
Etat actuel



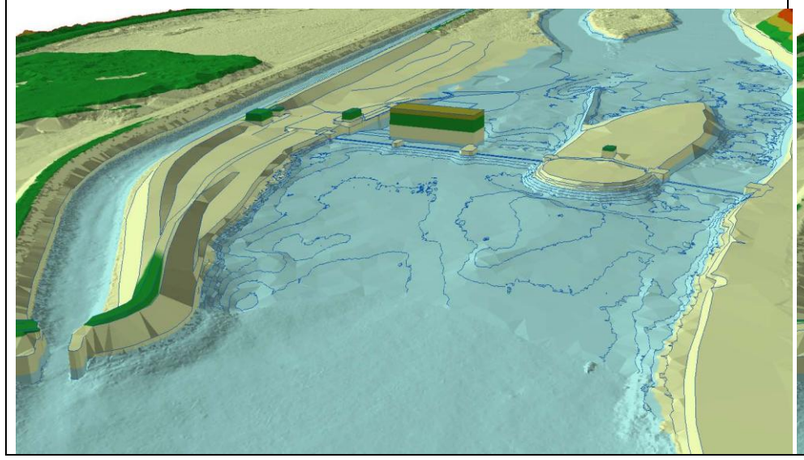
Etat projet



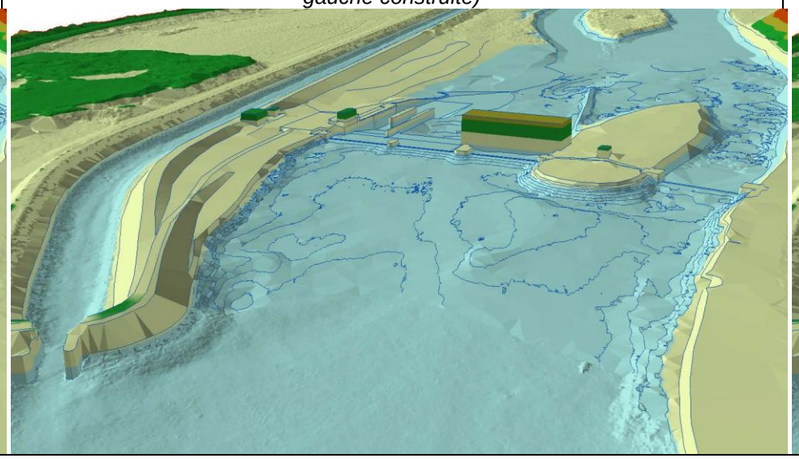
Configuration travaux 0 (VLH batardée)



Configuration travaux 1 (passe centrale gauche batardée)



Configuration travaux 2 (passe centrale droite batardée + VLH et centrale gauche construite)



Configuration travaux 3 (passe RD batardée + nouvelles passes RG et VLH construites)

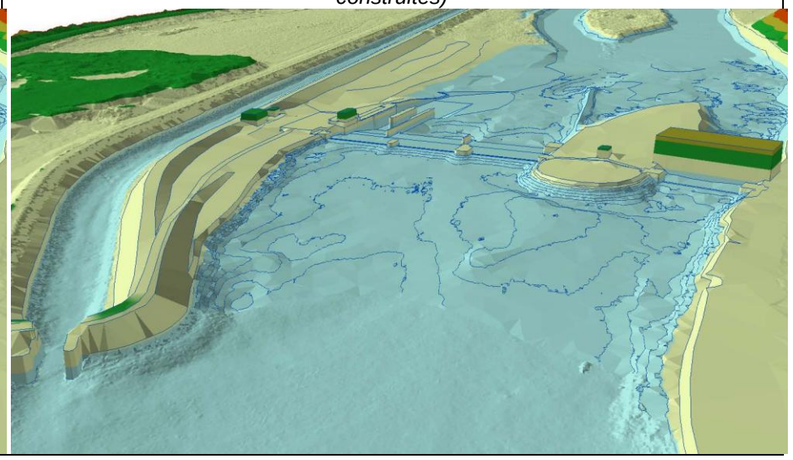


Figure 20 : vues 3D du site M24 dans les différentes situations (actuelle, projet et travaux)

3.6. FONCTIONNEMENT DES BARRAGES EN PERIODE D'EXPLOITATION

3.6.1. Analyse de l'état actuel

3.6.1.1. FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE ACTUEL EN CRUE – APPROCHE GLOBALE

Ce chapitre présente les éléments relatifs à l'état actuel issus de la modélisation hydraulique globale.

3.6.1.1.1. Débit d'effacement

Le débit d'effacement est défini comme le débit pour lequel il n'est plus possible de manœuvrer le barrage afin de maintenir la cote objectif en amont de celui-ci. Il peut être déterminé de manière théorique à partir du modèle hydraulique en identifiant le débit pour lequel, en configuration « barrage effacé », la cote calculée en amont du barrage dépasse le niveau de la RN.

Le tableau ci-dessous récapitule les débits d'effacement déterminés à partir du modèle hydraulique pour la situation actuelle au niveau de la RN projet.

Barrage	RN projet	Debits d'effacement En situation actuelle
M1	193.93	280
M2	180.61	150
M3	171.34	170
M4	164.33	100
M5	159.82	260
M6	154.26	130
M7	146.13	220
M8	145.00	250
M9	143.04	175
M10	139.46	220
M11	137.67	250
M12	135.99	320
M13	133.6	470
M14	130.41	410
M15	128.49	400
M16	125.20	460
M17	123.48	390
M18	119.45	650
M19	116.75	420
M20	114.45	460
M21	112.34	460
M22	110.19	440
M23	107.86	500
M24	106.12	400
M25	99.65	800

Tableau 16: débit d'effacement en état actuel calculé sur la cote RN projet

3.6.1.1.2. Crues théoriques

Ce paragraphe présente les profils en long de ligne d'eau obtenus pour les crues biennale à centennale. Comme indiqué précédemment, pour toute cette gamme de débits les barrages sont totalement effacés.

Pour de tesl débits, les barrages sont totalement noyés et la perte de charge localisée du au franchissement de l'ouvrage ne dépasse pas quelques dizaines de centimètres pour les plus faibles débits et 10 cm pour les débits les plus importants.

Les profils en long de ligne d'eau obtenu pour les différentes crues simules sont présentés sur les figures ci-dessous pour chacun des secteurs de modélisation.

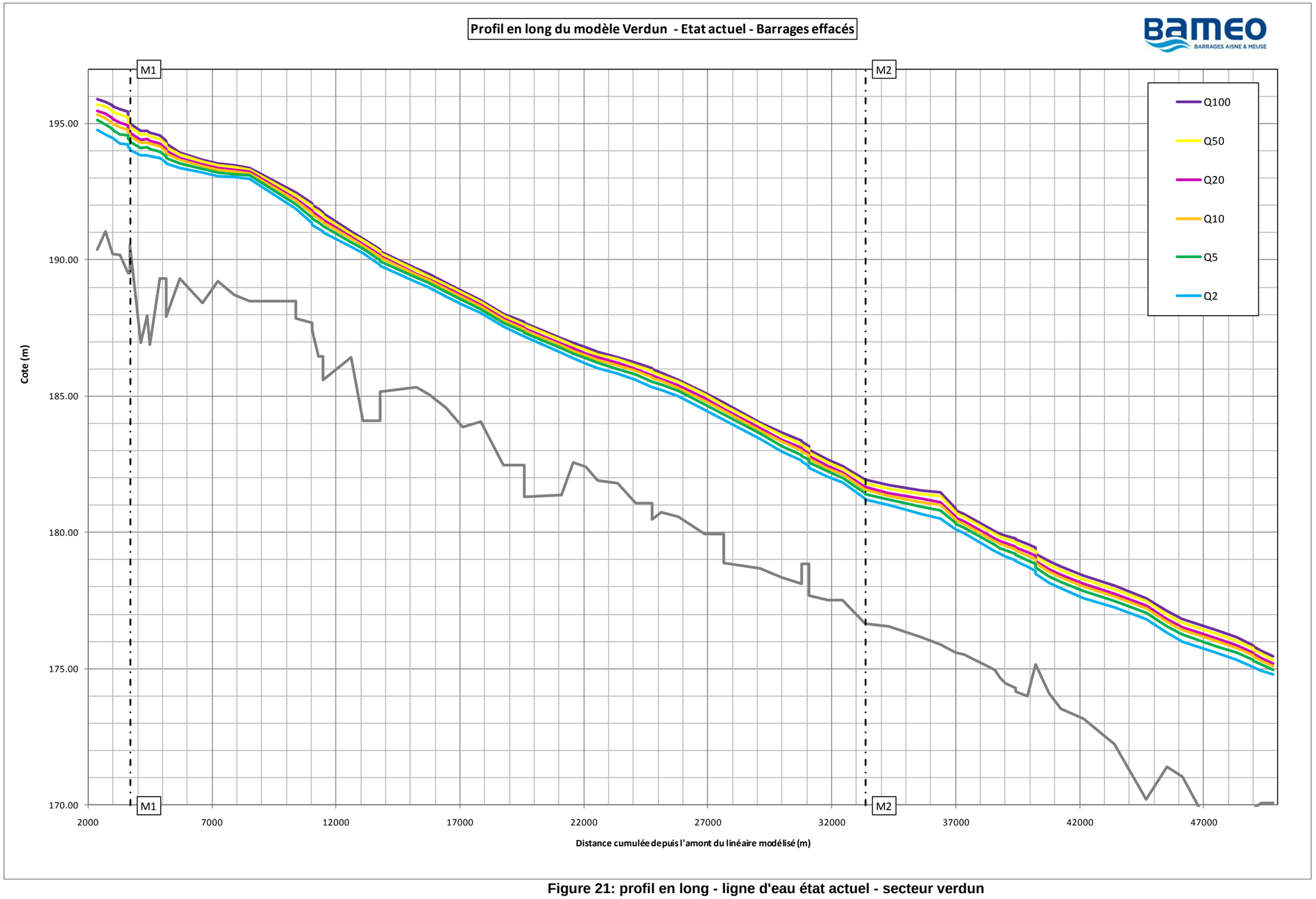


Figure 21: profil en long - ligne d'eau état actuel - secteur verdun

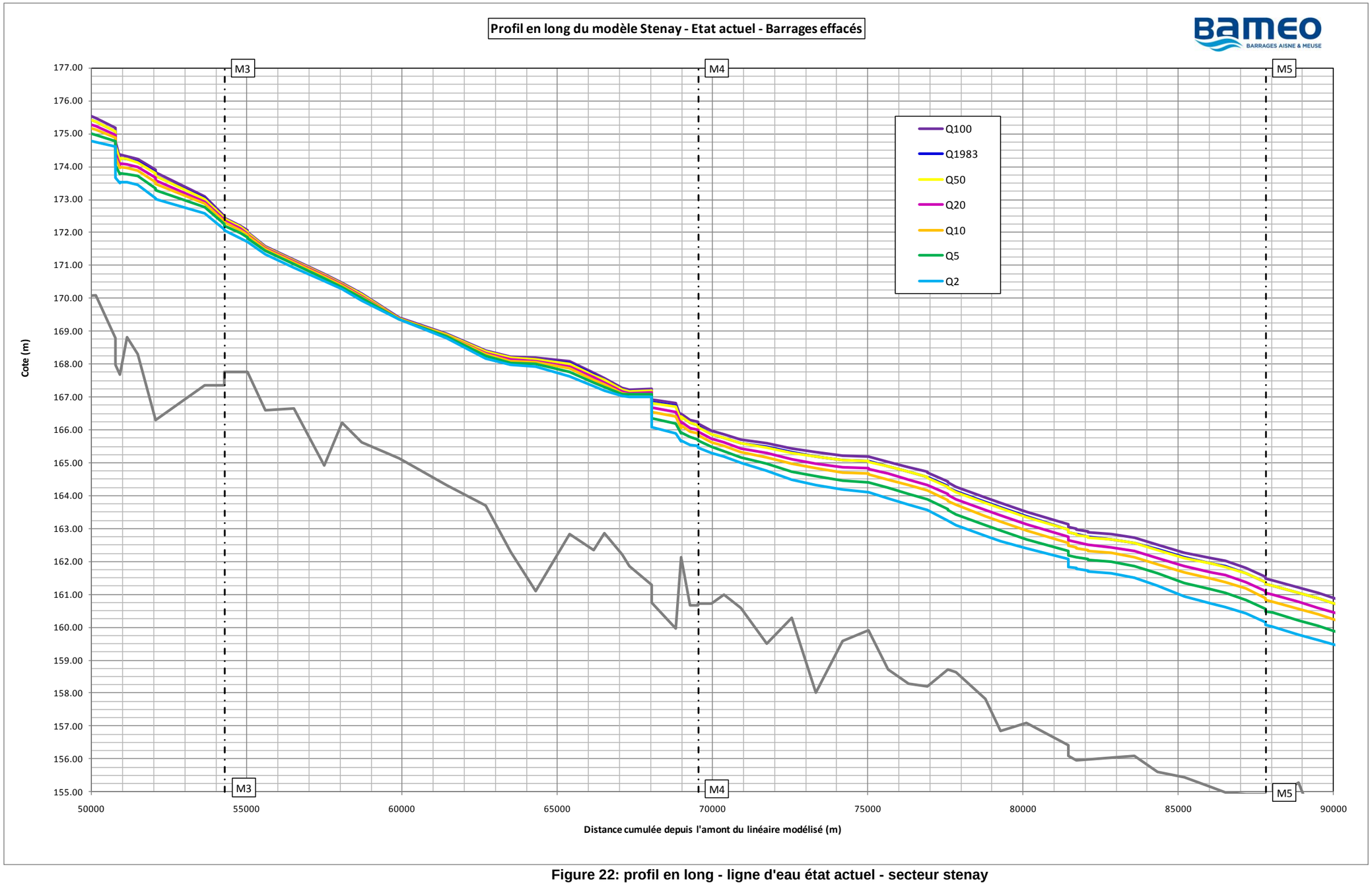


Figure 22: profil en long - ligne d'eau état actuel - secteur stenay

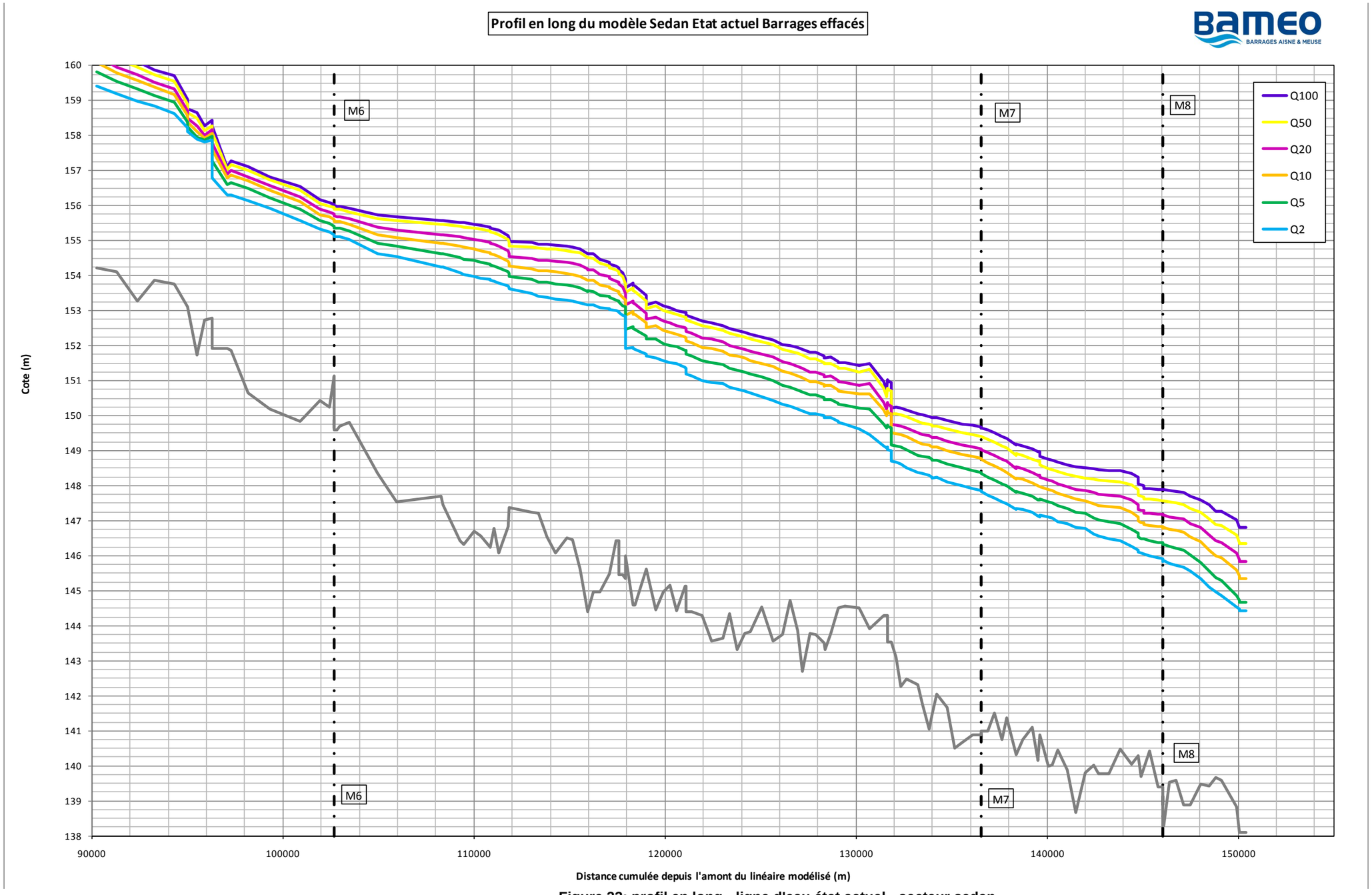


Figure 23: profil en long - ligne d'eau état actuel - secteur sedan

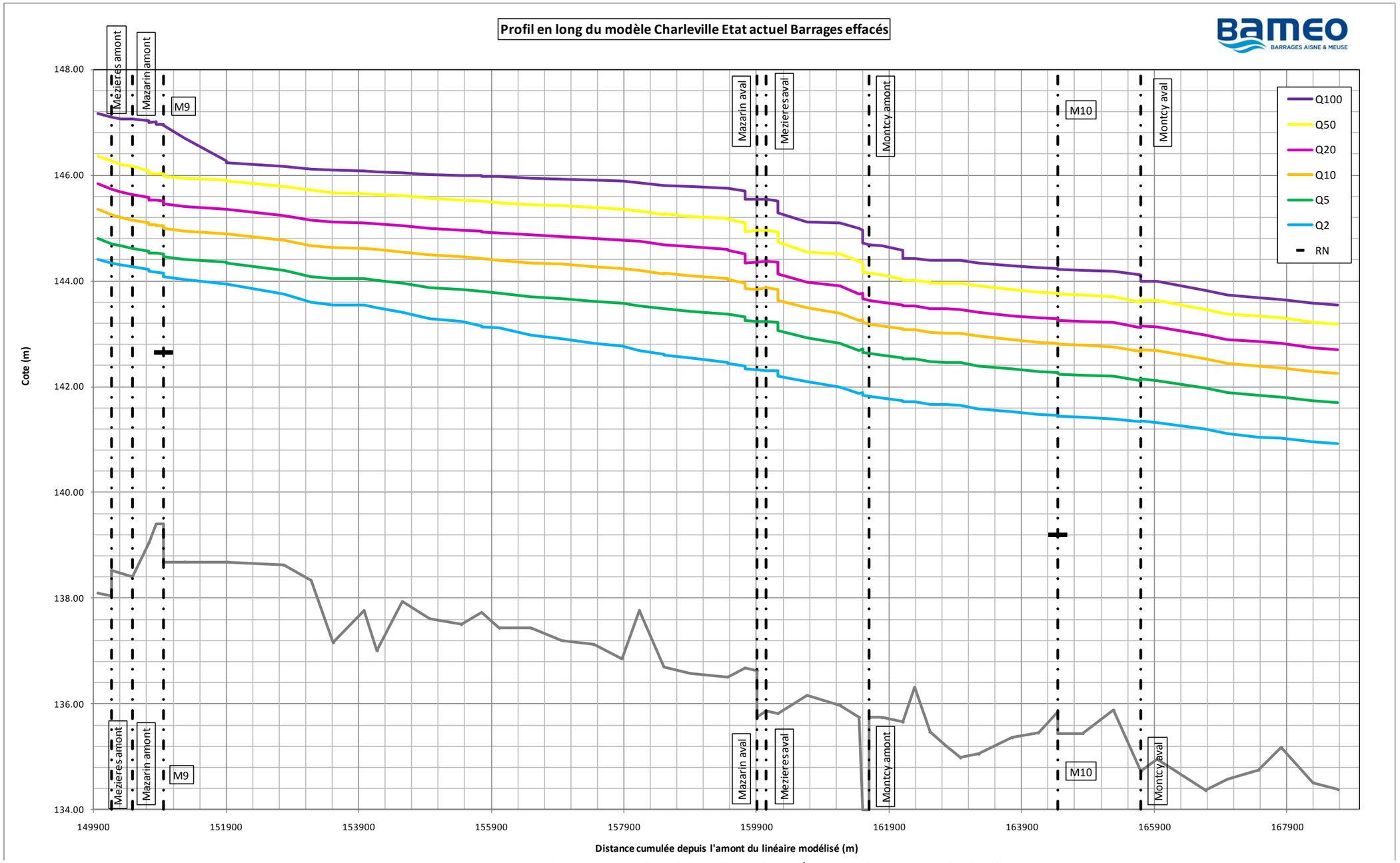
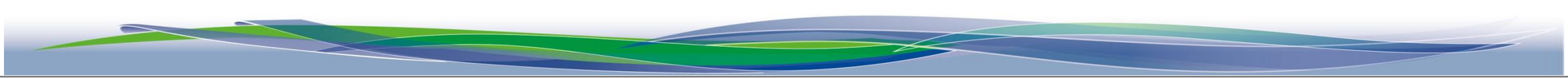


Figure 24: profil en long - ligne d'eau état actuel - secteur Charleville



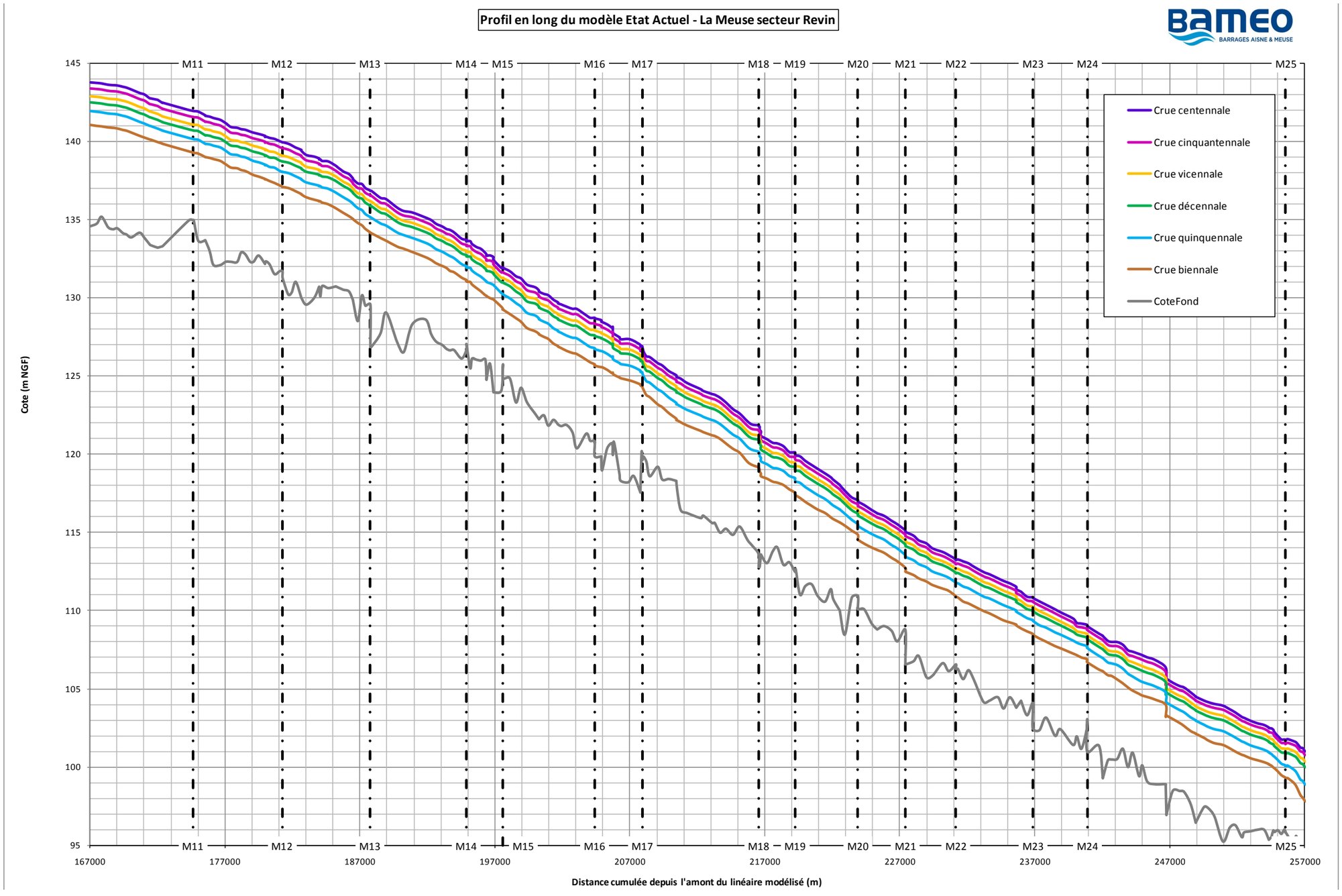


Figure 25: profil en long - ligne d'eau état actuel - secteur Givet

3.6.1.2. FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE ACTUEL EN CRUE – ZOOM LOCAUX

Ce chapitre présente les éléments relatifs à l'état actuel issus de la modélisation hydraulique 2D locale sur les 8 sites concernés.

La modélisation étant réalisée en lit mineur et barrage effacé, elle concerne la gamme de débit comprise entre le débit d'effacement et le débit des premiers débordements.

Les cartes des cotes calculées sur les 8 sites ayant fait l'objet d'une modélisation bidimensionnelle locale permettent d'identifier la perte de charge singulière générée par l'ouvrage. Ces cartes sont présentées ci-dessous sur le site M20 à titre d'exemple et en annexe pour les autres sites.

Les pertes de charges calculées au droit des barrages et les cotes amont présentent une bonne cohérence avec celles issues du modèle global 1D, justifiant de la cohérence et de la pertinence des résultats obtenus au droit des barrages n'ayant pas fait l'objet d'une modélisation 2D fine.

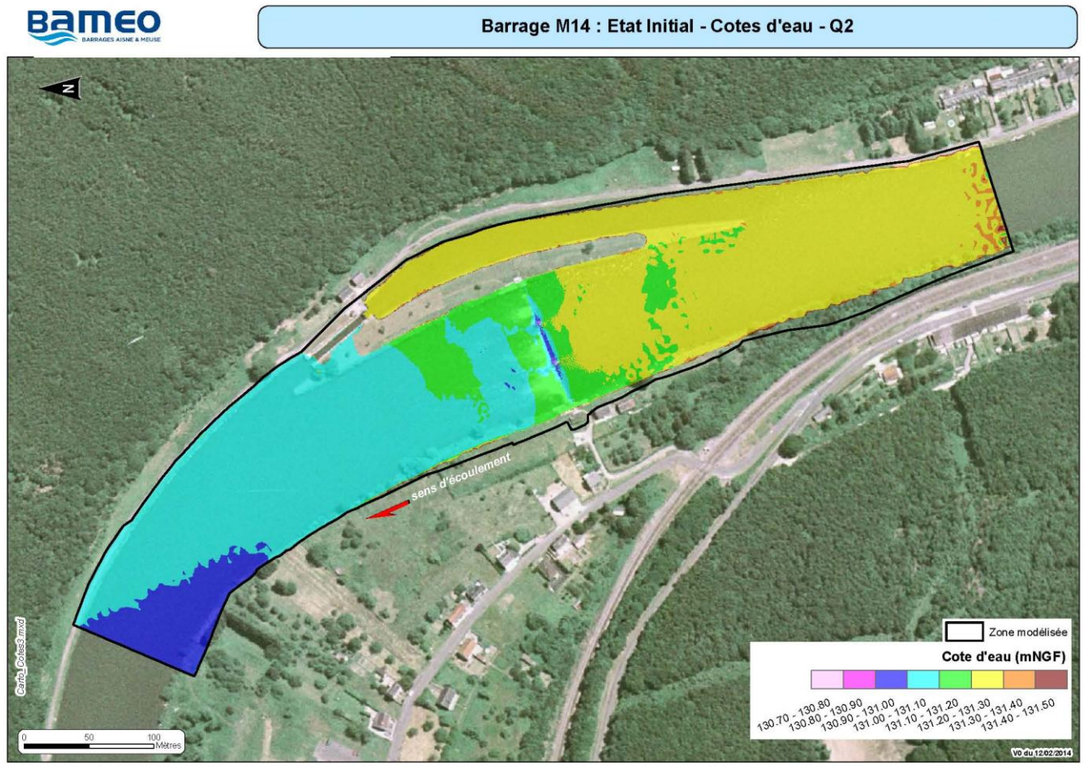


Figure 26: carte des cotes d'eau calculées en état actuel pour la crue biennale

La figure qui suit fournit pour le même barrage une vue en plan des vitesses d'écoulement calculées par l'intermédiaire du modèle 2D local. Les cartes de vitesses en état actuel pour les 8 sites sont également founies en annexe.

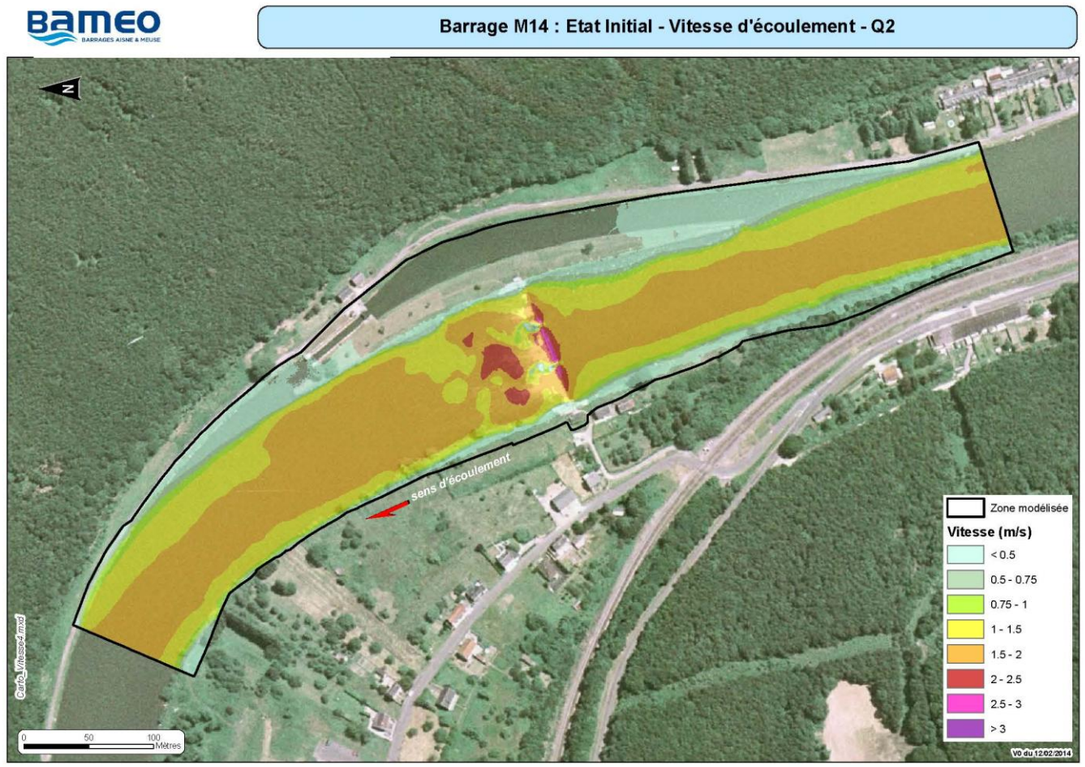


Figure 27: carte des vitesses calculées en état actuel pour la crue biennale

Les vitesses en amont et en aval du barrage, dans les sections de bief non directement influencées par l'ouvrage effacé (radier) sont inférieures à 2 m/s pour le débit et le barrage considéré.
Au droit du radier, la section d'écoulement est localement réduite, les vitesses sont donc corrélativement plus élevées et peuvent dépasser les 2,5 m/s.

Le zoom suivant permet d'apprécier plus finement la courantologie fine calculée par la modélisation 2D locale (exemple sur le barrage M6).

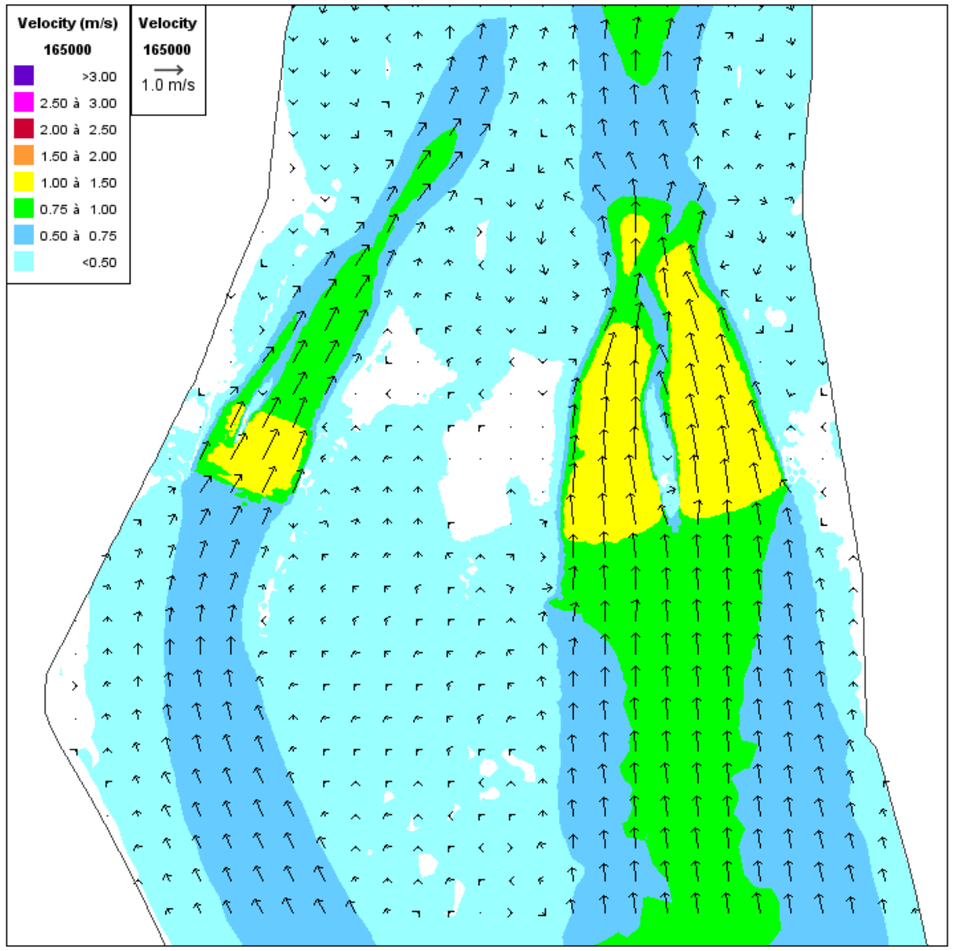


Figure 28: zoom sur le calcul de la vitesse d'écoulement dans les modélisations 2D locales

3.6.2. Analyse de l'état projet

3.6.2.1. FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE EN CRUE EN ETAT PROJET – APPROCHE GLOBALE

Ce chapitre présente les éléments relatifs à l'état projet issus de la modélisation hydraulique globale.

3.6.2.1.1. Débit d'effacement

Le tableau ci-dessous récapitule les débits d'effacement théoriques déterminés à partir du modèle hydraulique pour la valeur de RN projet indiquée.

Barrage	RN projet	Debits d'effacement projet
M1	193.93	280
M2	180.61	150
M3	171.34	170
M4	164.33	100
M5	159.82	260
M6	154.26	130
M7	146.13	220
M8	145.00	250
M9	143.04	175
M10	139.46	220
M11	137.67	250
M12	135.99	320
M13	133.6	470
M14	130.41	410
M15	128.49	400
M16	125.20	460
M17	123.48	390
M18	119.45	650
M19	116.75	420
M20	114.45	420
M21	112.34	420
M22	110.19	440
M23	107.86	500
M24	106.12	400
M25	99.65	800

Tableau 17: récapitulatif des débits d'effacement théoriques des barrages en état projet

Les débits d'effacement (calculés sur la RN projet) sont quasiment identiques à ceux calculés pour la même cote en situation actuelle à l'exception des barrages M20 et M21 pour lesquels le débit d'effacement en état projet est inférieur de 40 m3/s par rapport à la situation actuelle.
En effet, comme cela est décrit plus loin (§3.6.3), le projet a une incidence faible sur la ligne d'eau en crue ce qui par conséquent n'induit pas de modification du débit d'effacement à RN identique. Pour certains sites présentant

une incidence hydraulique en crue non négligeable, des préconisations d'optimisation du projet sont proposées au chapitre 3.9.

3.6.2.1.2. Crues théoriques

Pour toutes les occurrences de crue simulées, les barrages sont totalement noyés et l'impact résiduel du radier de l'ouvrage sur la ligne d'eau est faible.
L'écart entre les niveaux calculés en état actuel et en état projet ne diffère que de quelques centimètres. La présentation des résultats sous forme de profils en long ne permet pas de distinguer l'écart entre l'état actuel (présenté au 3.6.1) et l'état projet.

L'analyse de l'état projet est donc réalisé au travers de l'incidence de celui par rapport à l'état actuel et fait l'objet du chapitre 3.6.3

3.6.2.2. FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE EN CRUE EN ETAT PROJET– ZOOM LOCAUX

Ce chapitre présente les éléments relatifs à l'état projet issus de la modélisation hydraulique 2D locale sur les 8 sites concernés.

De même que pour l'état actuel, la modélisation étant réalisée en lit mineur et barrage effacé, elle concerne la gamme de débit comprise entre le débit d'effacement et le débit des premiers débordements.

La carte des cotes calculées sur le barrage M14 (voir ci-dessous et annexes pour les autres sites) permet d'identifier la perte de charge siingulière générée par l'ouvrage projeté.

De même que pour l'état actuel, les résultats de la modélisation 2D ont permis d'ajuster les paramètres de la modélisation globale. Les 2 modes de réprésentation présentent une bonne cohérence (compte tenu des différences de mode de calcul), justifiant la cohérence d'ensemble de la démarche et la pertinence des résultats obtenus au droit des barrages n'ayant pas fait l'objet d'une modélisation 2D fine.

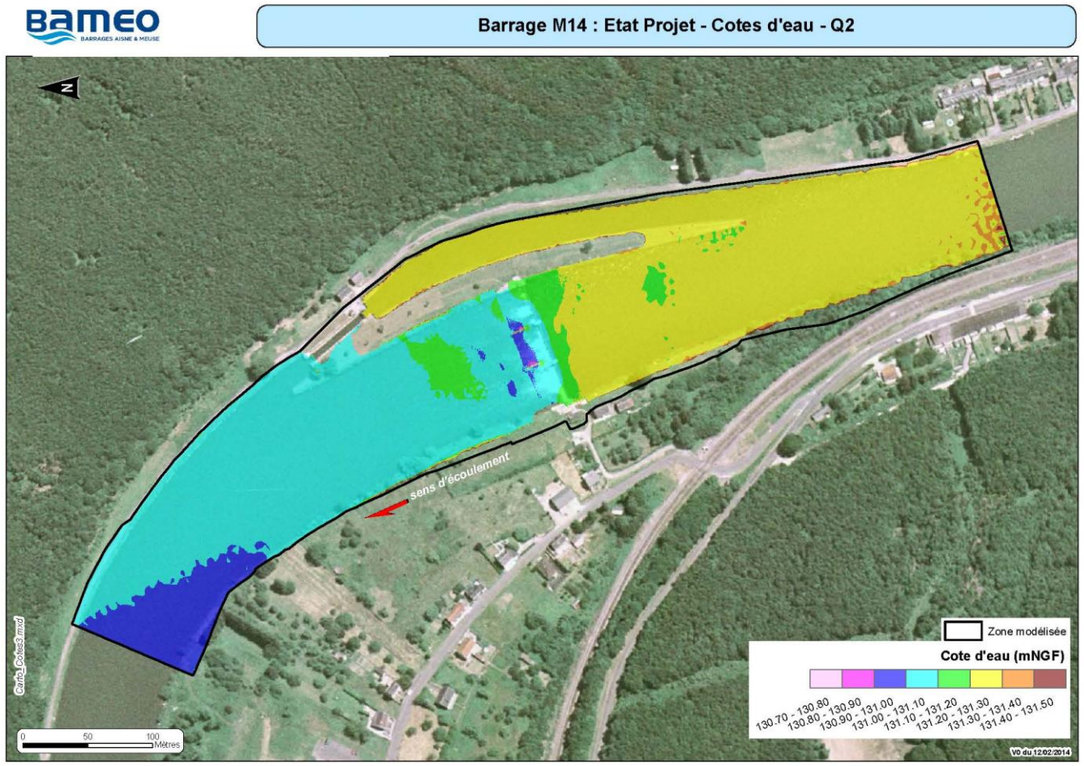


Figure 29: carte des cotes d'eau calculées en état projet pour la crue biennale

La figure qui suit donne, sur l'exemple du barrage M14, un aperçu sous forme de vue en plan des vitesses d'écoulement calculées par l'intermédiaire des modèles 2D au droit de chacun des barrages modélisés.

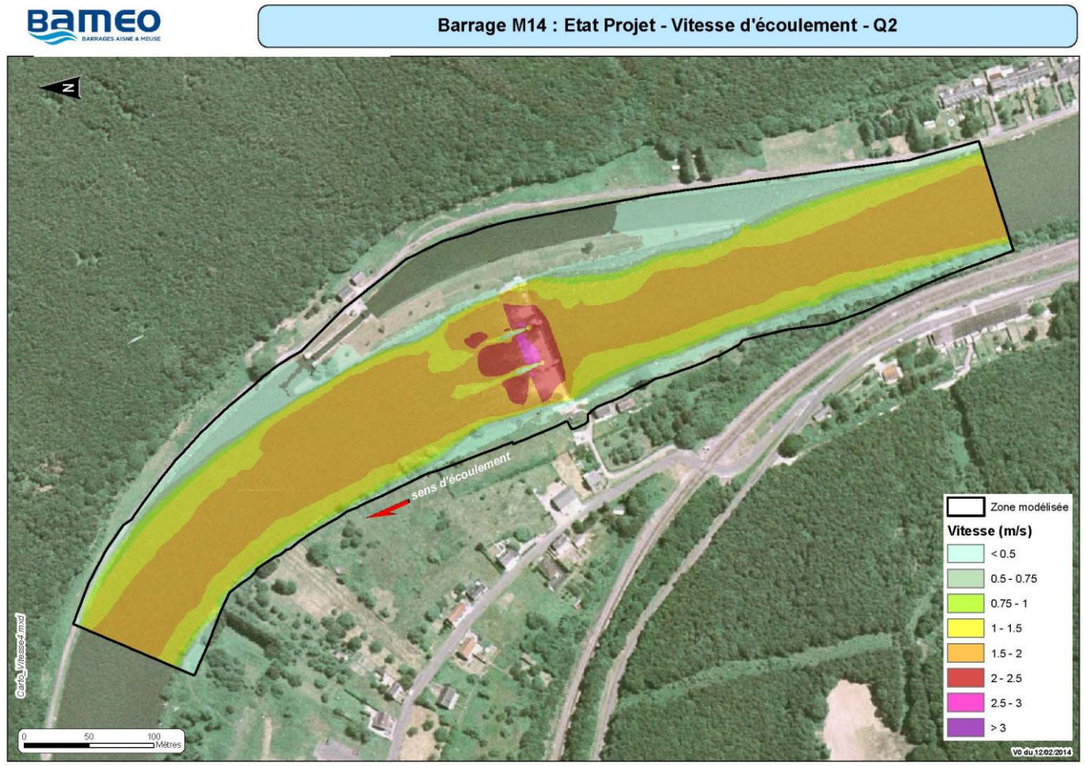


Figure 30: carte des vitesses d'écoulement calculées en état projet pour la crue biennale

Les vitesses en amont et en aval du barrage, dans les sections de bief non influencées par l'ouvrage effacé (radier) sont tout à fait comparables à celles obtenues en état actuel.

3.6.3. Incidence hydraulique du projet

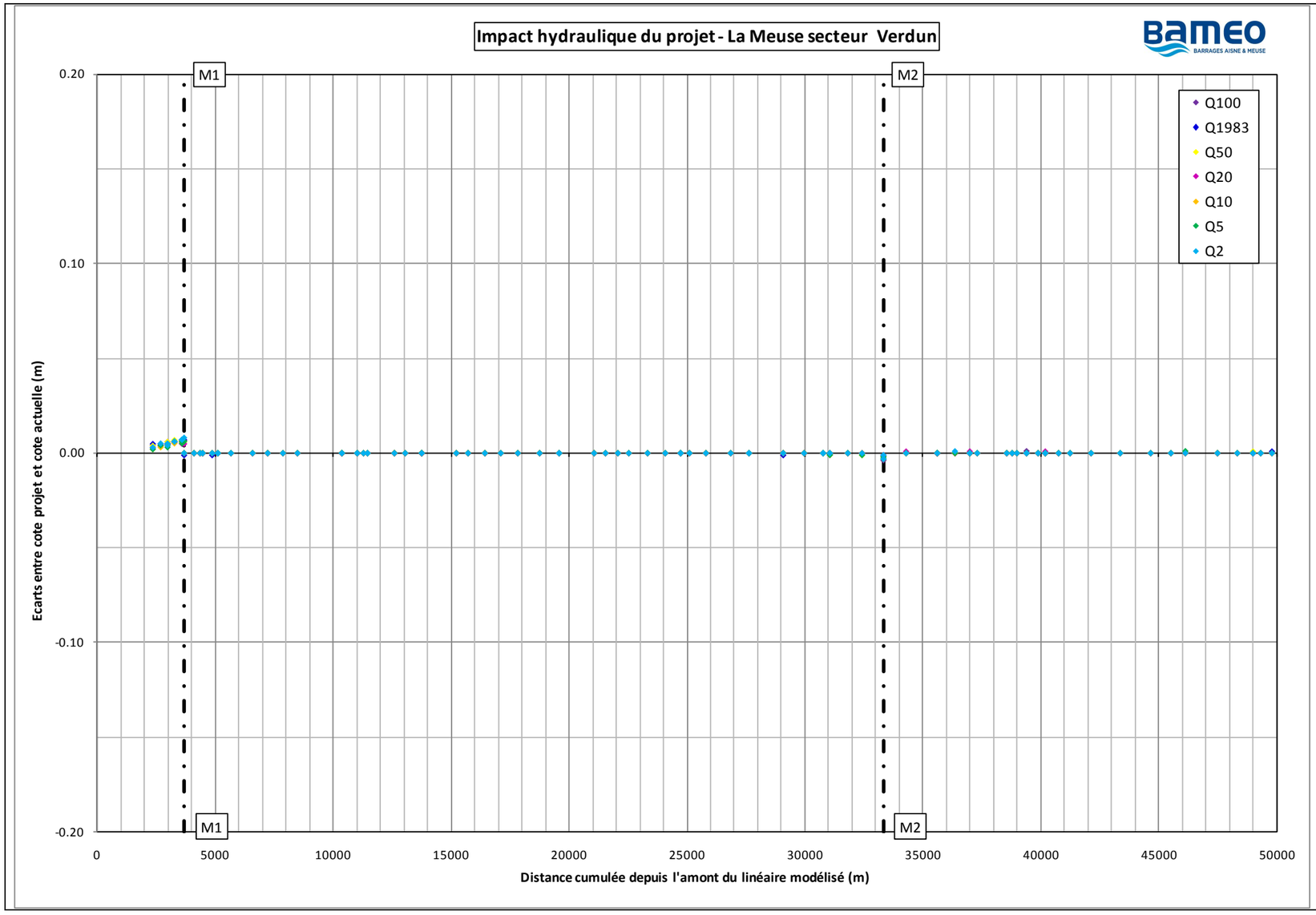
Ce chapitre décrit les incidences hydrauliques du projet par rapport à l'état actuel.

3.6.3.1. APPROCHE GLOBALE

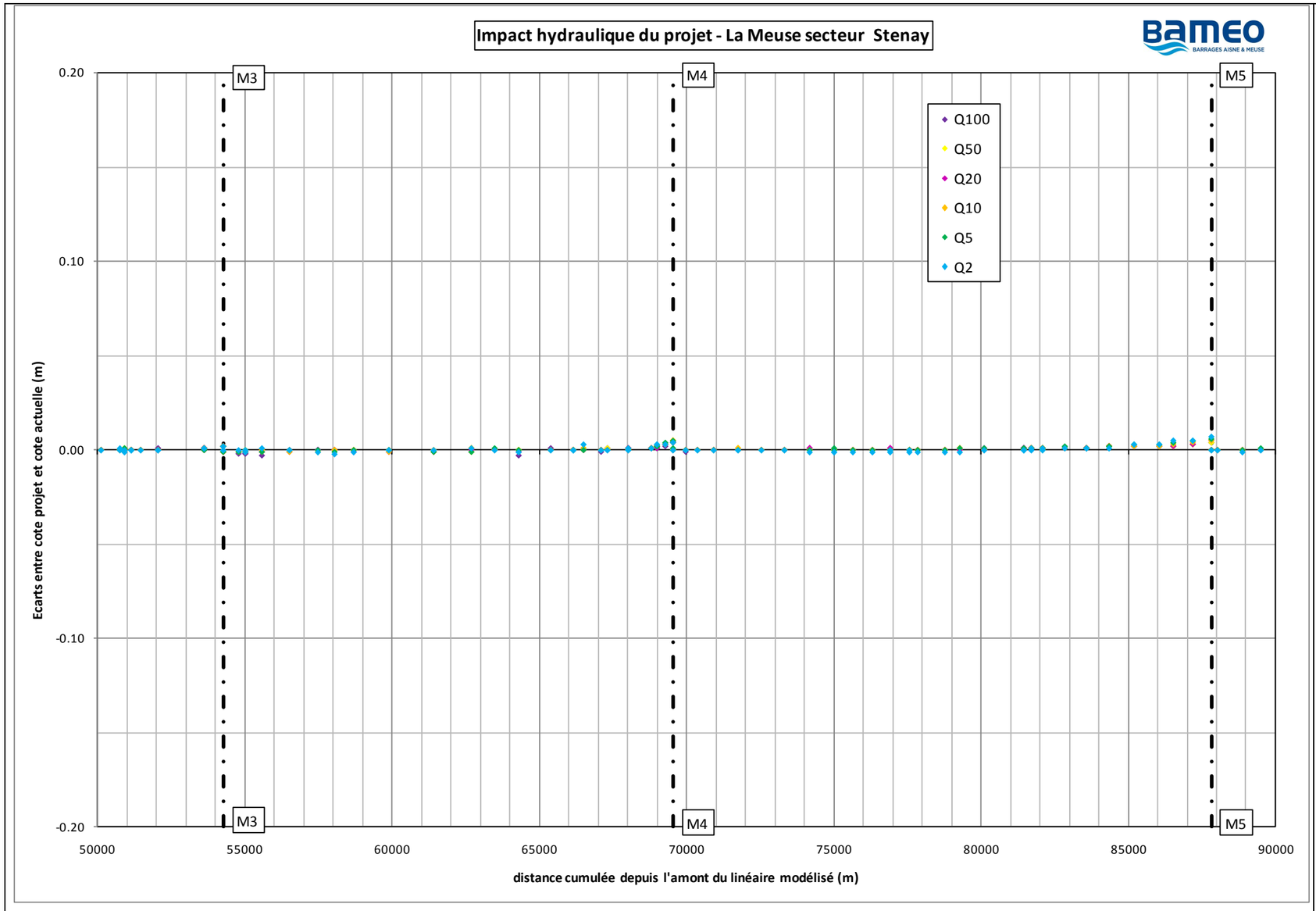
Les graphiques ci-dessous présente l'incidence hydraulique du projet sous la forme d'un profil en long pour chacun des secteurs de modélisation. L'axe des abscisse indique la distance cumulée depuis la limite amont du modèle, l'axe des ordonnée représente la différence en m entre la ligne d'eau en situation projet par rapport à la situation actuelle.

Ces graphique montre que :

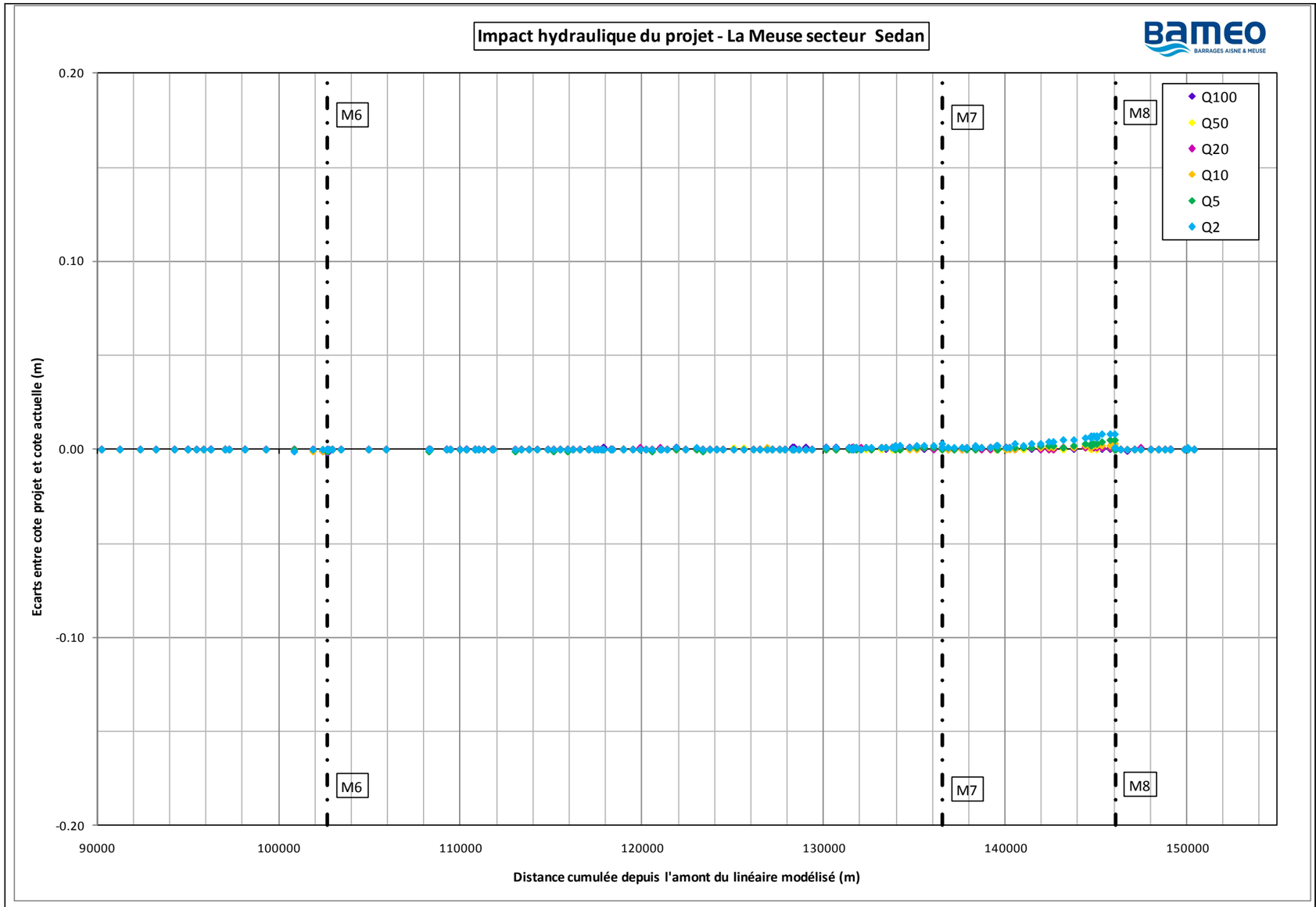
- Les impacts hydrauliques des nouveaux barrages sur la ligne d'eau en crue sont extremement limités
- L'incidence du projet sur la ligne d'eau décroit avec l'occurrence de crue, ce qui est logique puisque en état actuel comme en état projet les barrages sont de plus en plus noyés et donc transparents à l'écoulement,
- Que ces impacts s'atténuent au fur-et-à-mesure que l'on s'éloigne en amont de chaque ouvrage



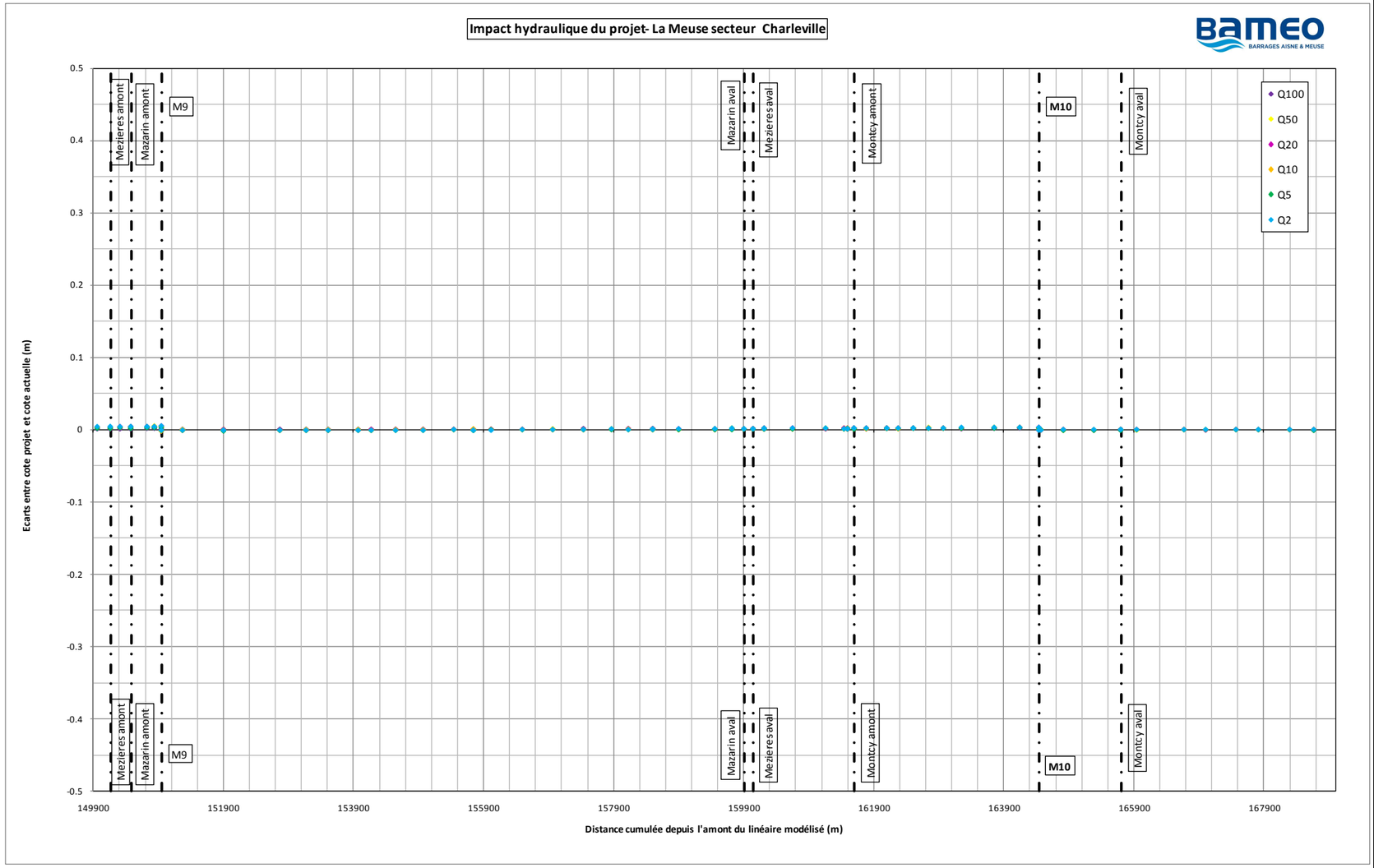
L'incidence hydraulique du projet sur la ligne d'eau est négligeable . Sur ce secteur, les crues sont débordantes dès les faibles occurrences (dès la crue biennale voire en deça). Pour toutes les crues qui dépassent le débit de débordement, la part de débit circulant en lit majeur (et donc non concernée par le projet) devient prépondérante ce qui explique l'incidence quasi nulle du projet.



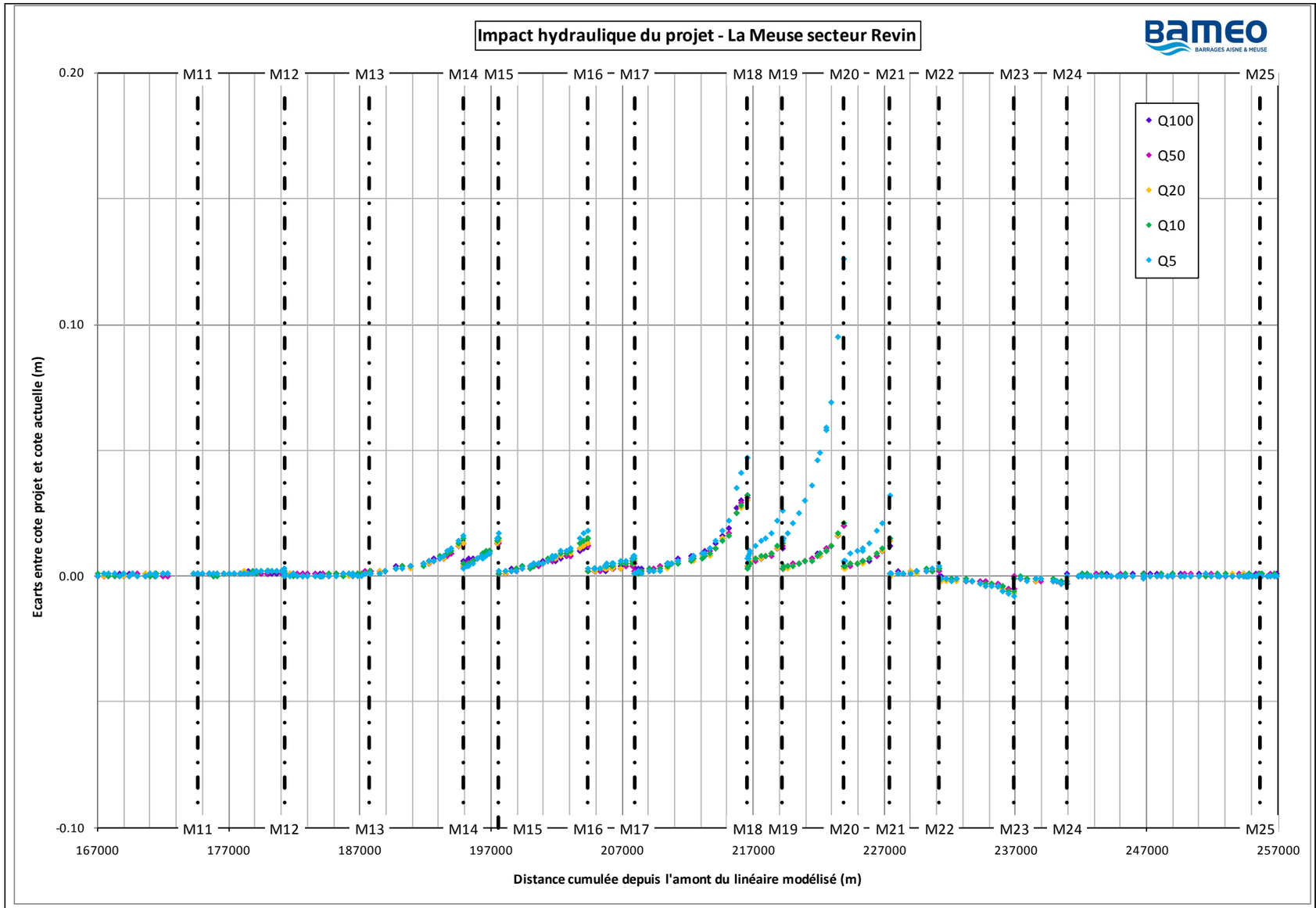
L'incidence hydraulique du projet sur la ligne d'eau est négligeable. L'explication est similaire à celle donnée pour le secteur de Verdun



L'incidence du projet sur ce linéaire est également extremement limitée pour les occurrences de crue testées.



Sur le secteur de Charleville, l'impact du projet sur les niveau d'eau est négligeable.



L'impact du projet est le plus sensible au niveau des barrages M18, M20 et M21 pour la crue quinquennale. Cet impact reste limité au regard des cotes de premiers enjeux concernés (voir chapitre 3.8).

En complément et afin d'atteindre un niveau d'incidence hydraulique plus réduite pour tous les niveaux de crue (y compris inférieurs à Q5), des propositions d'optimisation sont présentées au paragraphe 3.9.

3.6.3.2. ZOOM LOCAUX

L'approche 2D mise en œuvre aux droit des 8 sites permet de confirmer ces impacts et d'analyser en complément les évolutions locales de la courantologie et des vitesses d'écoulement.

Barrage	occurrence	Cote état initial	Cote état projet	Impact
M1	2 ans	194.06	194.07	0.01
M6	10 ans chantier	154.96	154.97	0.01
M9	5 ans	144.71	144.72	0.01
M14	2 ans	131.22	131.23	0.01
M17	2 ans	124.40	124.41	0.01
M18	2 ans	119.34	119.37	0.02
M20	2 ans	114.92	114.93	0.01
M24	2 ans	107.42	107.43	0.01

3.6.4. Synthèse et commentaires en phase d'exploitation

En phase exploitation, les incidences calculées sur la ligne d'eau en crue sont faibles et de l'ordre de grandeur de la précision des modèles.

La courantologie et les vitesses d'écoulement sont elles aussi très peu modifiées par le projet.

Le projet peut donc être considéré comme ayant un impact négligeable, que ce soit sur les enjeux inondables ou les stations hydrométriques.

3.7. FONCTIONNEMENT ET IMPACT DU PROJET EN PHASE TRAVAUX

3.7.1. Description des phases travaux considérées

3.7.1.1. PHASAGE GENERAL DES TRAVAUX

Les travaux seront réalisés sur plusieurs barrages simultanément. Chaque barrage sera construit passe par passe afin de minimiser l'impact sur la section d'écoulement, la réalisation de chaque passe supposant la mise en place d'un batardeau de chantier au droit de celle-ci. Un tel batardeau est démontable voire submersible en cas de crue importante.
La réalisation des nouveaux barrages la Meuse s'échelonnera au total en 10 phases successives.

Le chrono-logigramme de principe du phasage des travaux à l'échelle de l'ensemble des 25 barrages est récapitulé dans le tableau ci-dessous.

		nb de passes à réaliser	Groupe	saison de travaux en rivière 2015		saison de travaux en rivière 2016		saison de travaux en rivière 2017		saison de travaux en rivière 2018		saison de travaux en rivière 2019		2020
				S/s Phase 1	S/s Phase 2	S/s Phase 3	S/s Phase 4	S/s Phase 5	S/s Phase 6	S/s Phase 7	S/s Phase 8	S/s Phase 9	S/s Phase 10	S/s Phase 11
M25	Barrage de Givet	0	G0	VLH (Rive Gauche)										
M13	Barrage de Monthermé	0	G1											
M20	**Barrage de Vannes-Alcorps**	**3**	**G2**	Rive Gauche	Centrale	Rive Droite								
M21	**Barrage de Fépin**	**3**	**G2**	Rive Droite	Centrale	Rive Gauche								
M22	**Barrage de Montigny**	**3**	**G2**	Rive Gauche	Centrale	Rive Droite								
M23	**Barrage de Mouyon**	**4**	**G2**	Rive Gauche	Centrale G	Centrale D	Rive Droite							
M24	**Barrage de Ham sur Meuse**	**4**	**G2**	VLH (RG)	Centrale G	Centrale D	Rive Droite							
M17	**Barrage de Saint Nicolas**	**3**	**G3**			Rive Droite	Centrale	Rive Gauche						
M18	**Barrage de Saint Joseph**	**3**	**G3**			VLH (RG)	Rive Gauche	Centrale	Rive Droite					
M19	**Barrage d'Uf**	**3**	**G3**			Rive Gauche	Centrale	Rive Droite						
M10	**Barrage Montcy Notre Dame**	**3**	**G4**					Rive Gauche	Centrale	Rive Droite				
M11	**Barrage de Joigny**	**3**	**G4**					Rive Gauche	Centrale	Rive Droite				
M12	**Barrage de Lévrezy**	**3**	**G4**					Rive Droite	Centrale	Rive Gauche				
M14	**Barrage de la [petite] Commune**	**3**	**G4**					Rive Gauche	Centrale	Rive Droite				
M15	**Barrage de Dames de Meuse**	**3**	**G4**					Rive Droite	Centrale	Rive Gauche				
M16	**Barrage d'Orzy**	**3**	**G4**					Rive Gauche	Centrale	Rive Droite				
M1	**Barrage Belleville**	**3**	**G5**							Rive Droite	Centrale	Rive Gauche		
M2	**Barrage Sivry**	**2**	**G5**									Rive Droite	Rive Gauche	
M3	**Barrage Sassey**	**2**	**G5**									Rive Droite	Rive Gauche	
M4	**Barrage de Stenay**	**2**	**G5**									Rive Droite	Rive Gauche	
M5	**Barrage Alma**	**2**	**G5**									Rive Droite	Rive Gauche	
M6	**Barrage de Villers-Devant-Mouzon solution amont**	**2**	**G5**									Rive Gauche	Rive Droite	
M7	**Barrage Dom le Mesnil**	**3**	**G5**							Rive Droite	Centrale	Rive Gauche		
M8	**Barrage Romery**	**3**	**G5**							Rive Droite	Centrale	Rive Gauche		
M9	**Barrage de Mézières**	**3**	**G5**							Rive Droite	Centrale	Rive Gauche		

mise en service barrage G0: 14/3/2016

date (au + tard) de MES des barrages du groupe G2: 15/03/2017

date (au + tard) de MES des barrages du G3: 15/03/2018

date (au + tard) de MES des barrages du G4: 14/03/2019

date (au + tard) de MES des barrages du G5: 16/03/2020

légende

	barrage actuel en service
-	Passe batardée en chantier
	nouveau barrage en service

Tableau 18: chronogramme prévisionnel des différentes phases chantier de la reconstruction des barrages de la Meuse

Le tableau ci-contre expose le phase global du chantier.

Sur le plan hydraulique, les calculs en phase chantier ont été menés pour les 3 sous-phases 3, 5 et 9 afin de pouvoir avoir une simulation en phase chantier sur l'ensemble des ouvrages en projet et de représenter les sous-phases les plus critiques sur le plan hydrauliques car affectant le plus grand nombre d'ouvrage de manière simultanée.

3.7.1.2. CARACTERISTIQUES DE CHACUNE DES CONFIGURATIONS TRAVAUX

Comme indiqué précédemment, une phase travaux est associée, au droit de chaque barrage, à une configuration travaux, correspondant :

- au barrage actuel si les travaux n'ont pas démarré au droit dudit barrage
- à la réalisation d'une des passes (et donc à son batardage) dudit barrage si le barrage est en travaux lors de la phase considérée
- au barrage projet si les travaux sont terminés au droit dudit barrage

Les travaux sont réalisés depuis la rive où est implantée la future passe à poissons vers la rive opposée. La destruction du barrage actuel (radier + piles + pertuis) intervient à l'issue de l'achèvement global de la reconstruction du barrage considéré.
A l'issue de la phase de travaux, la destruction de l'ancien barrage est indispensable, pour minimiser l'incidence hydraulique en crue, dans tous les cas où le radier du barrage projet est inférieur à celui existant en situation actuelle ainsi que pour tous les sites compris entre M14 et M24.

Sur un barrage comportant en état projet 3 passes et équipé d'une passe à poissons en rive droite, les 3 configurations travaux sont donc :

- C1 : passe RD batardée + radier et piles actuels
- C2 : passe centrale batardée + radier et piles actuels + radier projet RD
- C3 : passe RG batardée + radier et piles actuels + radier projet RD + radier projet passe centrale

Un tel exemple correspond au cas des vues 3D des barrages de Belleville, Mézières ou Saint Nicolas figurées au 3.5.

Dans la suite du document, le terme de configuration chantier est utilisé pour évoquer les différentes étapes de travaux au droit d'un site considéré isolément.
Le terme de phase chantier correspond à une combinaison de configurations chantier et concerne donc la réalisation simultanée de travaux sur différents sites.

3.7.2. Incidence hydraulique des travaux individualisés par site et pour chaque configuration

L'impact hydraulique du projet en phase travaux est lié à l'obstruction partielle (en général de l'ordre d'un tiers) de la section d'écoulement, générant une contraction de celui-ci et occasionnant conséquemment une perte de charge singulière liée à la contraction brutale de l'écoulement.

Une fois le batardeau de chantier démonté, il ne subistera plus aucun obstacle résiduel à l'écoulement et la configuration du site sera alors équivalente à celle de l'état actuel ou à celle de l'état projet en fonction de l'avancement du chantier. De fait, comme indiqué au $3.6, l'impact du chantier deviendra alors négligeable.

Pour l'analyse des configurations chantier, les modèles 2D locaux sont utilisés afin d'analyser plus finement l'impact individuel de chaque configuration de travaux. Ils permettent notamment :

- **De calculer précisément les pertes de charge induites par le rétrécissement de la section d'écoulement due au batardage successif de chaque passe**
- **De préciser les éventuelles incidences du batardeau sur la courantologie et les vitesses d'écoulement à proximité du barrage**

Les résultats correspondants sont valorisés dans le modèle global afin de recaler si nécessaire les pertes de charge calculées par l'approche globale.

3.7.2.1. ANALYSE DES IMPACTS AU DROIT DU SITE M20 POUR LES DIFFERENTES CONFIGURATIONS DE CHANTIER

3.7.2.1.1. Configuration de chantier C1 (passe RG batardée)

La figure qui suit fournit pour le barrage M20 (à titre d'illustration du propos) un aperçu des cotes de ligne d'eau calculées en configuration chantier C1 pour la crue décennale de chantier. Les cartes relatives à tous les autres sites modélisés sont fournies en annexe.

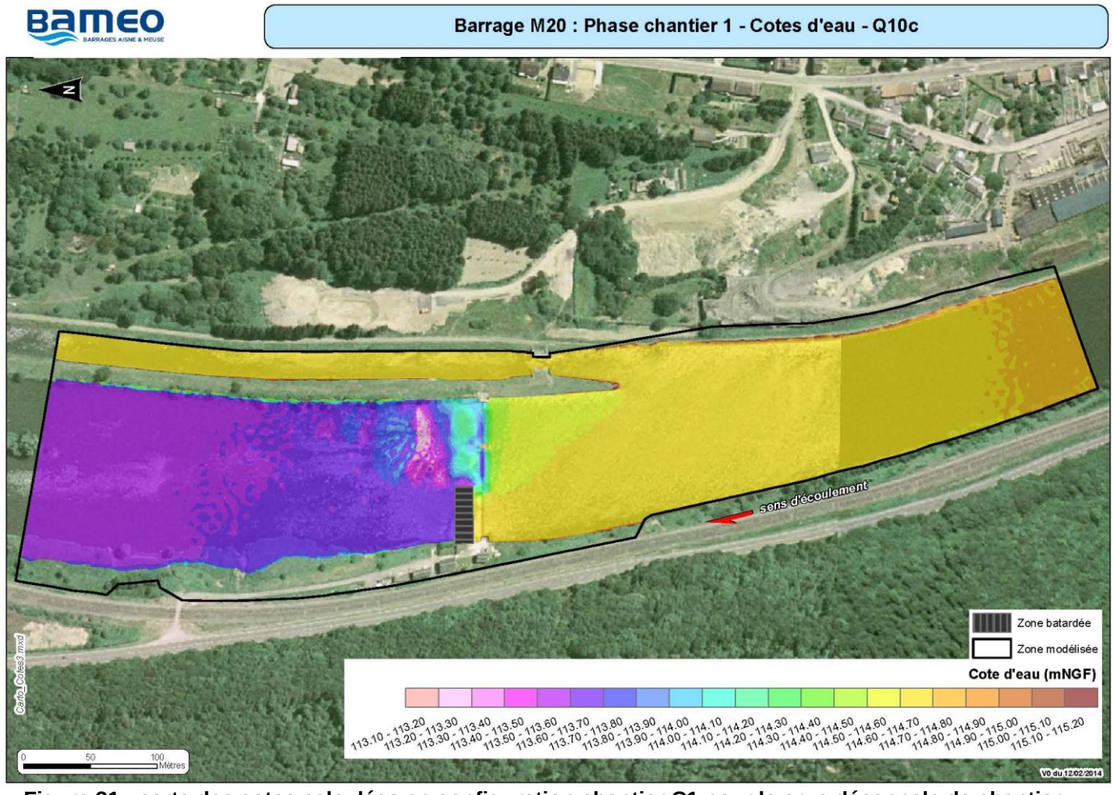


Figure 31 : carte des cotes calculées en configuration chantier C1 pour la crue décennale de chantier

La figure qui suit fournit quant à elle un aperçu des vitesses d'écoulement au droit du barrage M20 en configuration chantier C1 pour la crue décennale de chantier.

On observe une augmentation locale des vitesses liée à la réduction de la section d'écoulement. Néanmoins, l'impact reste très localisé et s'estompe rapidement en aval.

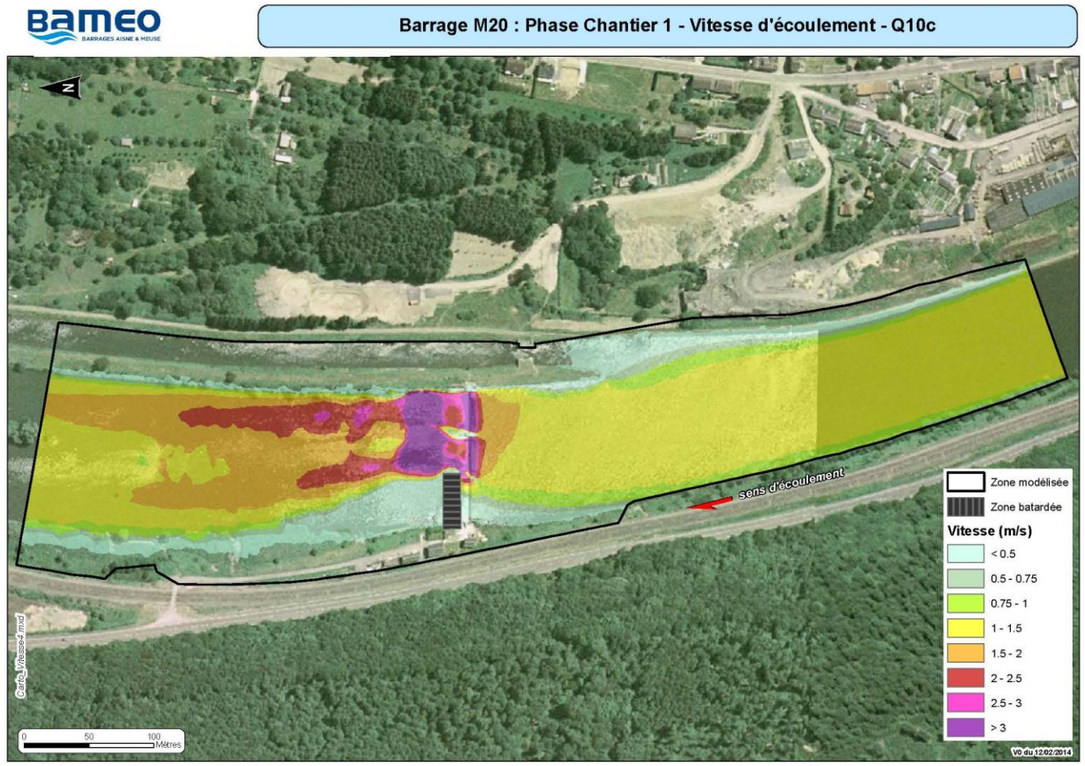


Figure 32 : carte des vitesses d'écoulement calculées en configuration chantier C1 pour la crue décennale de chantier

La figure suivante propose un zoom sur la courantologie au droit de l'ouvrage. On y observe bien un étranglement de l'écoulement du à la présence du batardeau qui renvoit le débit vers les 2 passes ouvertes et de fait une augmentation localisée de la vitesse.

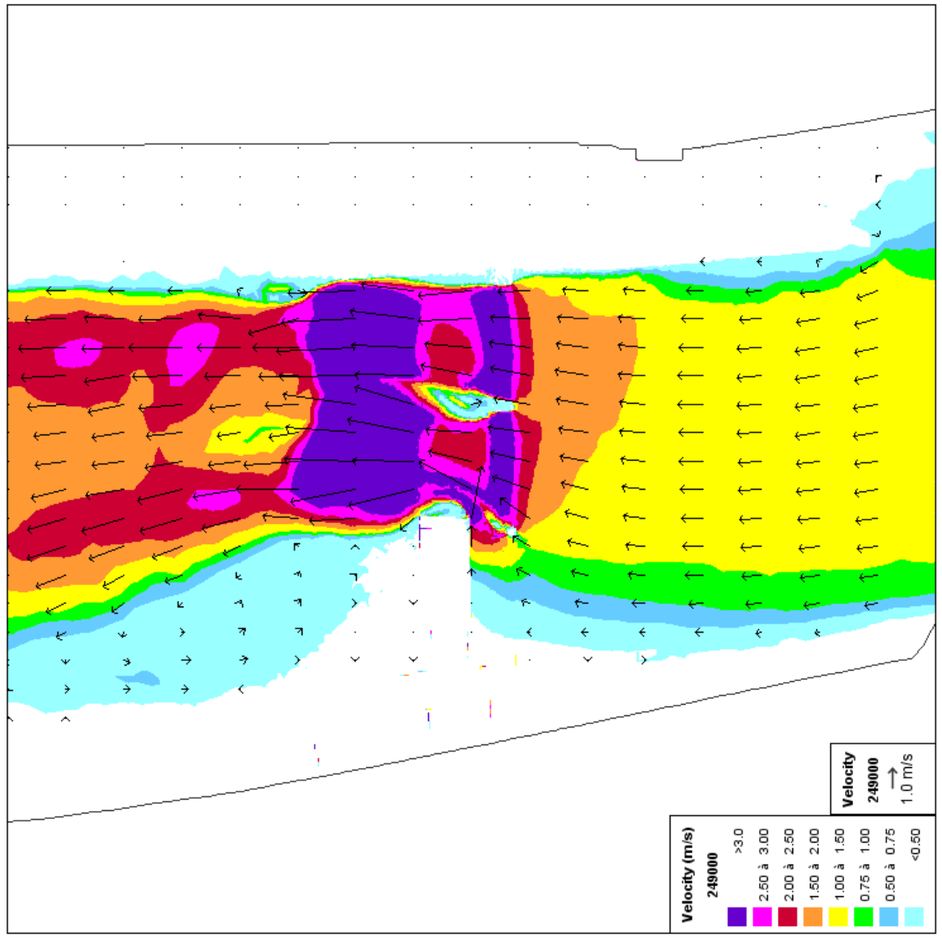


Figure 33: zoom sur la courantologie au droit du barrage M20 en configuration de chantier C1 pour Q10 chantier

3.7.2.1.2. Configuration de chantier C2 (passe centrale batardée)

En configuration de chantier C2 (passe centrale batardée), la perte de charge est plus importante et les cotes d'eau pour la crue décennale de chantier s'établissent comme indiqué sur la figure suivante.

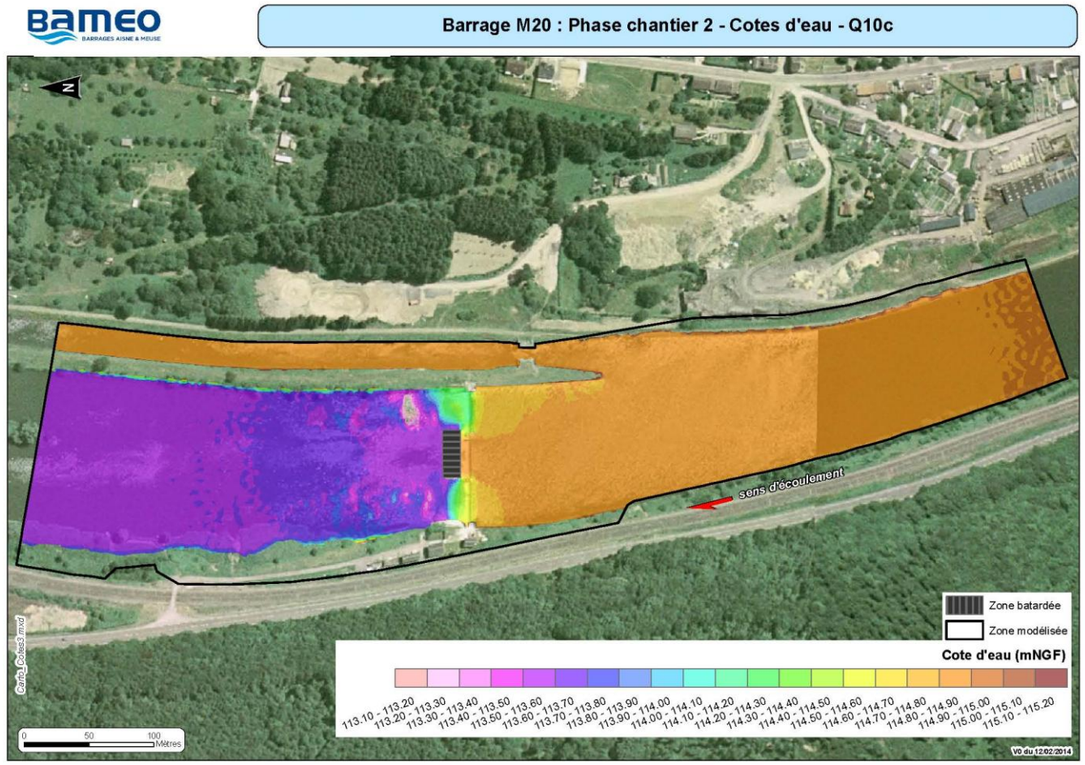


Figure 34: carte des cotes d'eau calculées en configuration chantier C2 pour la crue décennale de chantier

Les vitesses d'écoulement sont dans ce cas également augmenté par rapport à la situation actuelle ou projet du fait du batardage et dépassent localement 3 m/s.

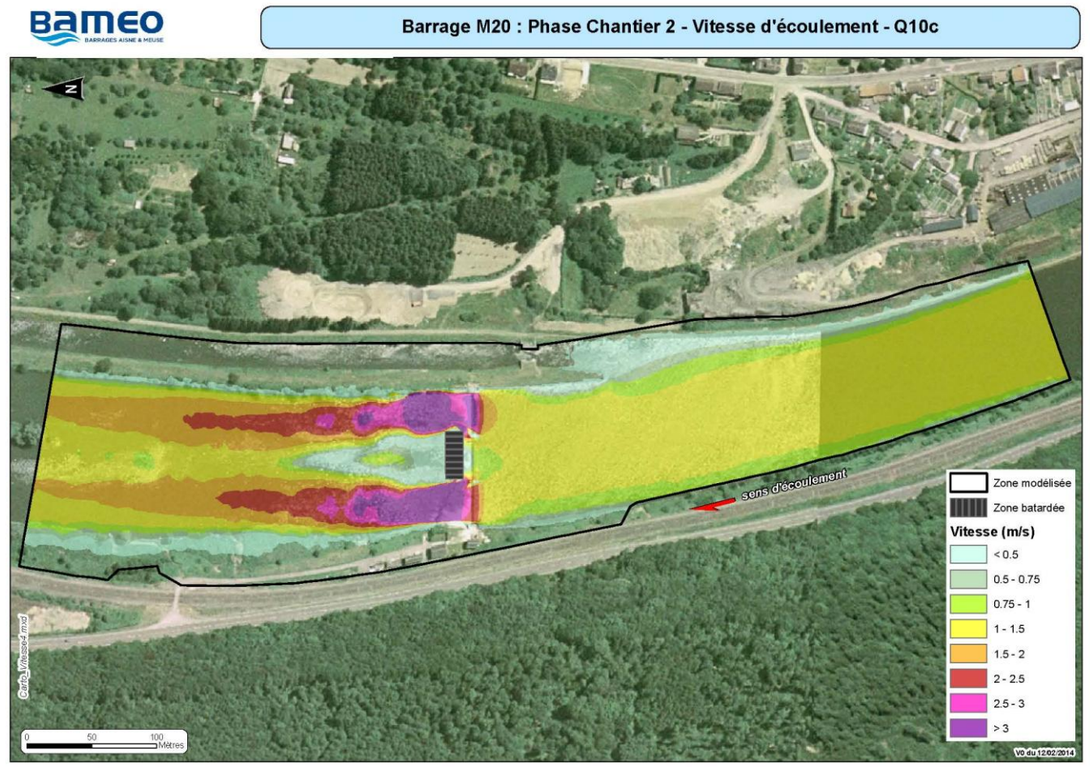


Figure 35 : carte des vitesses d'écoulement calculées en configuration chantier C2 pour la crue décennale de chantier

Un zoom sur l'ouvrage permet une nouvelle fois d'apprécier l'évolution de la courantologie aux abords de l'ouvrage durant cette configuration de travaux. On retrouve à nouveau une importante zone de recirculation (zone de faible vitesse) en arrière du batardeau. Cette configuration de chantier étant associé au batardage de la passe centrale située au centre du lit et donc dans l'axe principal d'écoulement génère une zone morte à l'aval proportionnellement plus élevée que pour les batardages des passes latérales.

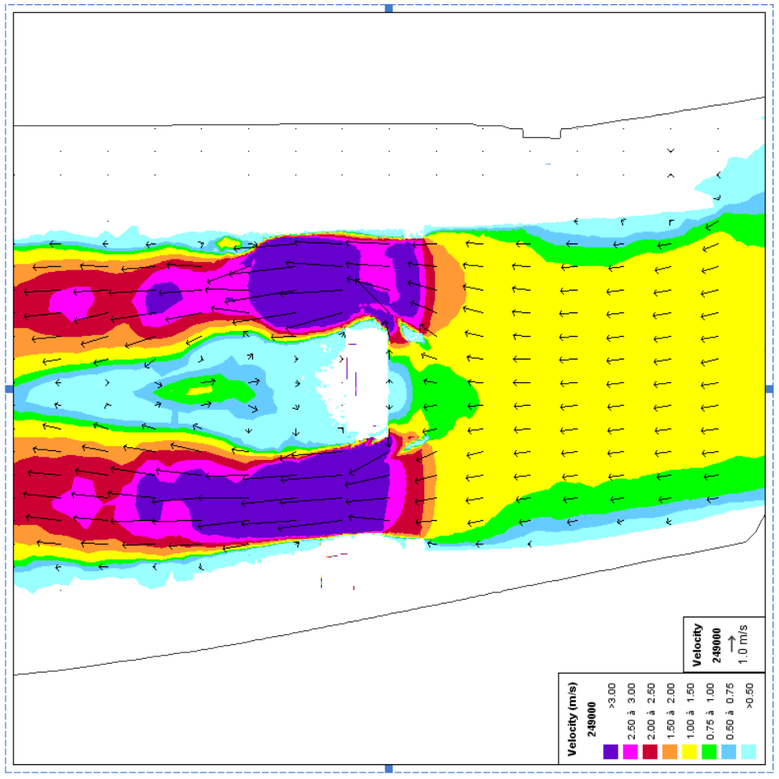
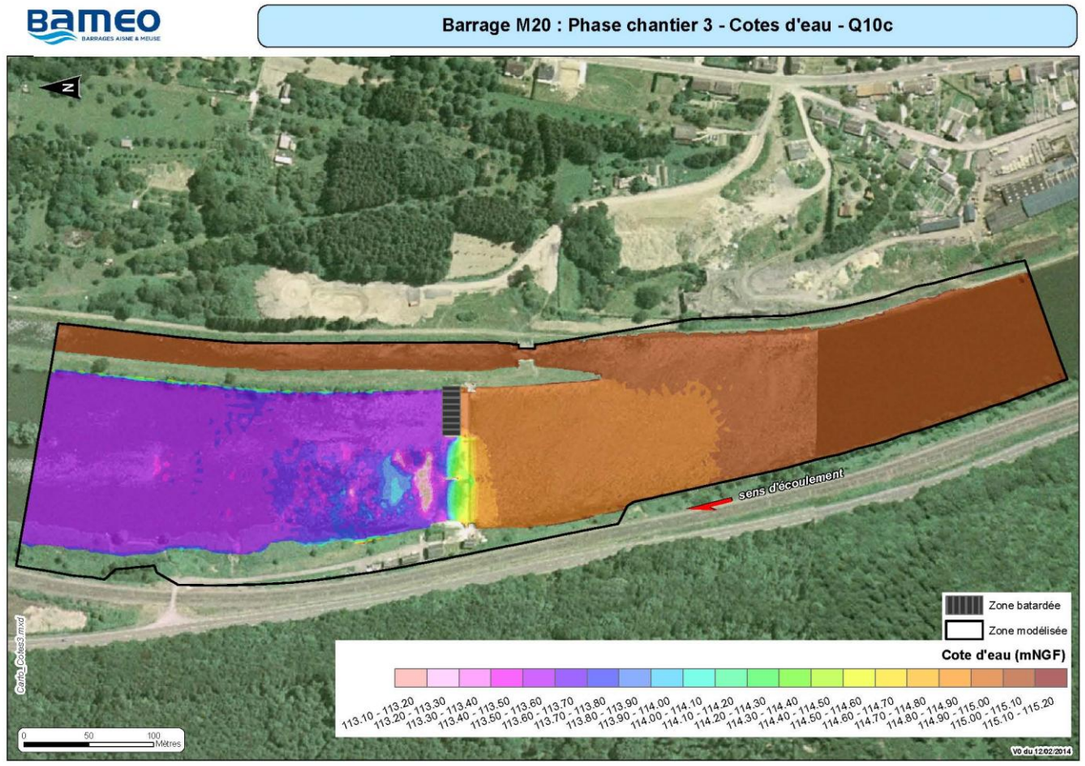


Figure 36 : zoom sur la courantologie au droit du barrage A3 en configuration de chantier C2 pour Q10 chantier

3.7.2.1.3. Configuration de chantier C3 (passe RG batardée)

Enfin, en configuration de travaux C3, la perte de charge liée à la restriction de section retrouve une valeur sensiblement équivalente à celle obtenue en configuration C1 (cf. figure suivante).



Pour ce qui est des vitesses, on observe à nouveau une augmentation de celles-ci du fait de la restriction de section. Ce phénomène est visible sur la figure suivante.

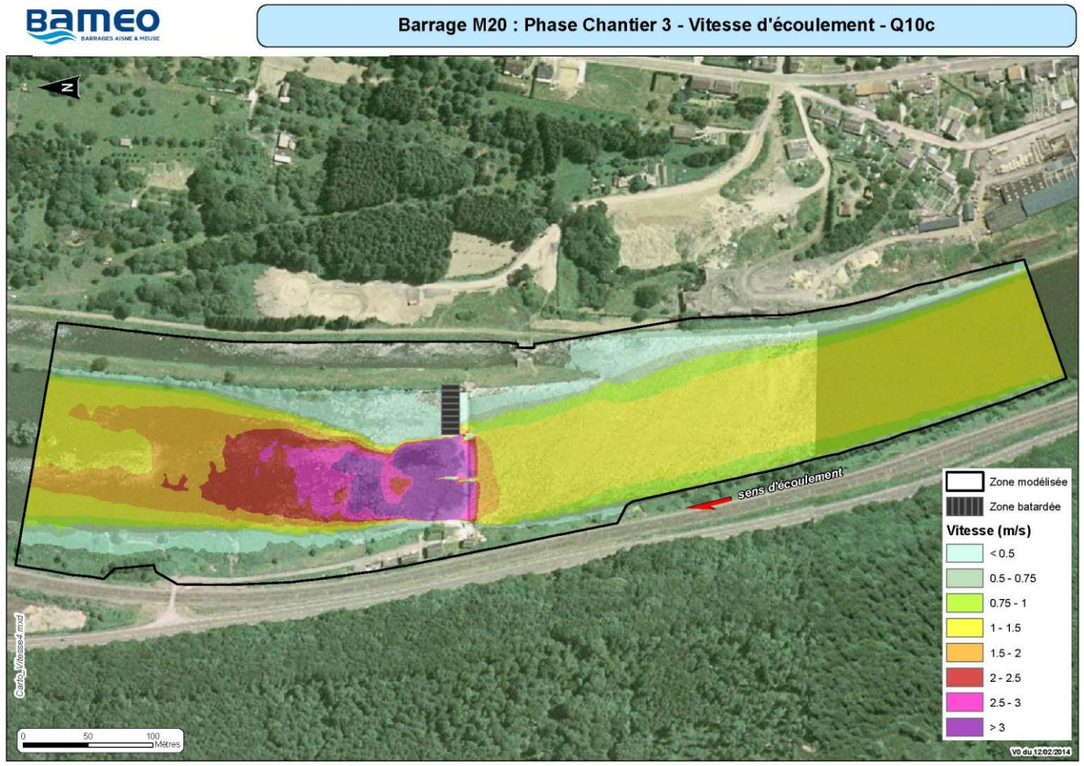


Figure 37 : carte des vitesses d'écoulement calculées en configuration chantier C3 pour la crue décennale de chantier

Un zoom permet là encore de mieux apprécier l'incidence du batardeau sur la courantologie aux abords immédiats de l'ouvrage.

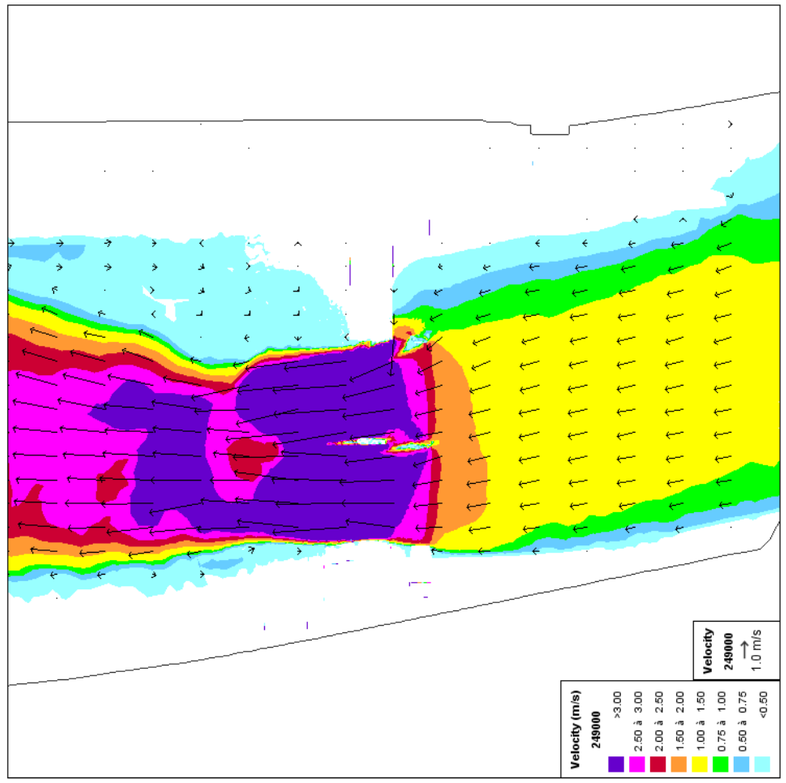


Figure 38 :zoom sur la courantologie au droit du barrage A3 en configuration de chantier C3 pour Q10 chantier

3.7.2.2. ANALYSE DES IMPACTS AU DROIT DES AUTRES SITES POUR LES DIFFERENTES CONFIGURATIONS DE CHANTIER

L'ensemble des cartes de cotes et vitesses calculées au niveau des barrages traités par modélisation 2D locale pour les 3 configurations de chantier et la crue décennale de chantier sont disponibles en annexe.

L'analyse des cartes précitées conduit aux mêmes observations que celles formulées sur le barrage M20.

3.7.2.3. SYNTHESE DES IMPACTS HYDRAULIQUES INDIVIDUELS LOCAUX OBTENUS A PARTIR DES MODELISATIONS 2D

Le tableau suivant indique les exhaussements calculés en amont des barrages concernés par la modélisation 2D locale pour la crue décennale de chantier pour chacune des configurations de travaux.

Barrage	Cote état initial	Cote C0	Cote C1	Cote C2	Cote C3	Impact C0	Impact C1	Impact C2	Impact C3
M1	193.14		193.29	193.39	193.36		0.15	0.25	0.22
M6	154.98		155.16	155.09			0.18	0.11	
M9	143.86		144.01	144.16	144.15		0.15	0.30	0.29
M14	130.28		130.58	130.59	130.73		0.30	0.31	0.45
M17	123.46		123.92	123.90	124.02		0.45	0.44	0.56
M18	118.41	118.50	118.58	118.71	118.97	0.09	0.17	0.30	0.56
M20	114.21		114.61	114.82	114.97		0.40	0.61	0.77
M24	106.52	106.63	106.72	106.79	107.06	0.11	0.20	0.28	0.54

3.7.3. Incidence hydraulique des travaux conbinés sur la ligne d'eau d'ensemble pour les phases 3, 5 et 9

Une fois les impacts hydrauliques locaux de chaque configuration de travaux déterminés et si besoin recalés à partir des modèles 2D, les impacts hydrauliques cumulés ont été déterminés au travers du modèle hydraulique global pour 3 des 10 phases de travaux évoquées précédemment.
Pour mémoire, les deux phases retenues sont les phases 3, 5 et 9 considérées comme les plus impactantes.

Les graphiques proposés dans les 10 pages qui suivent représentent pour chaque secteur de modélisation :

- Le comparatif des profils en long de ligne d'eau en situation actuelle et en phase travaux
- Le profil en long des impacts cumulés des différents barrages en travaux durant les phases travaux

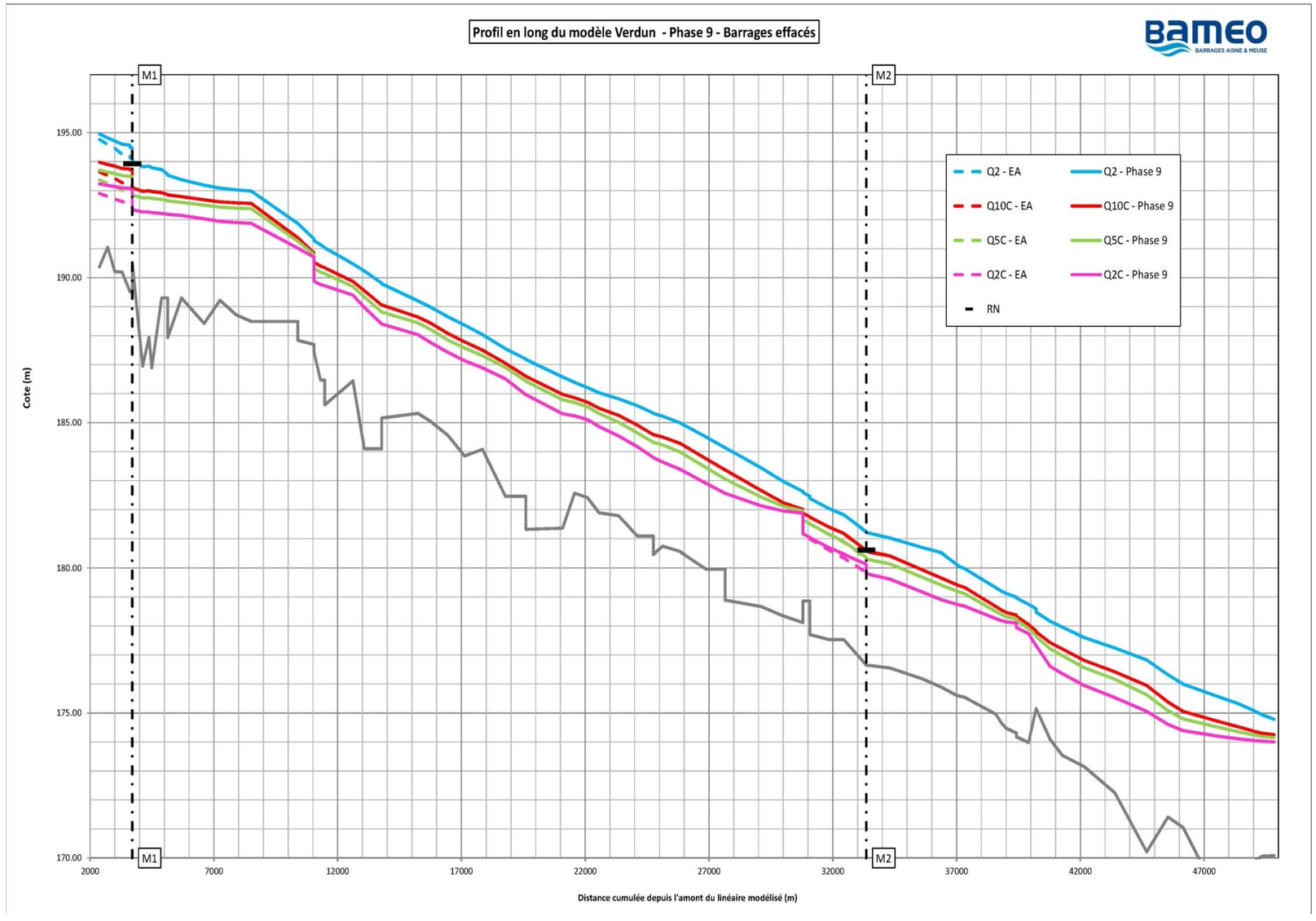
L'analyse de ces graphiques montre que :

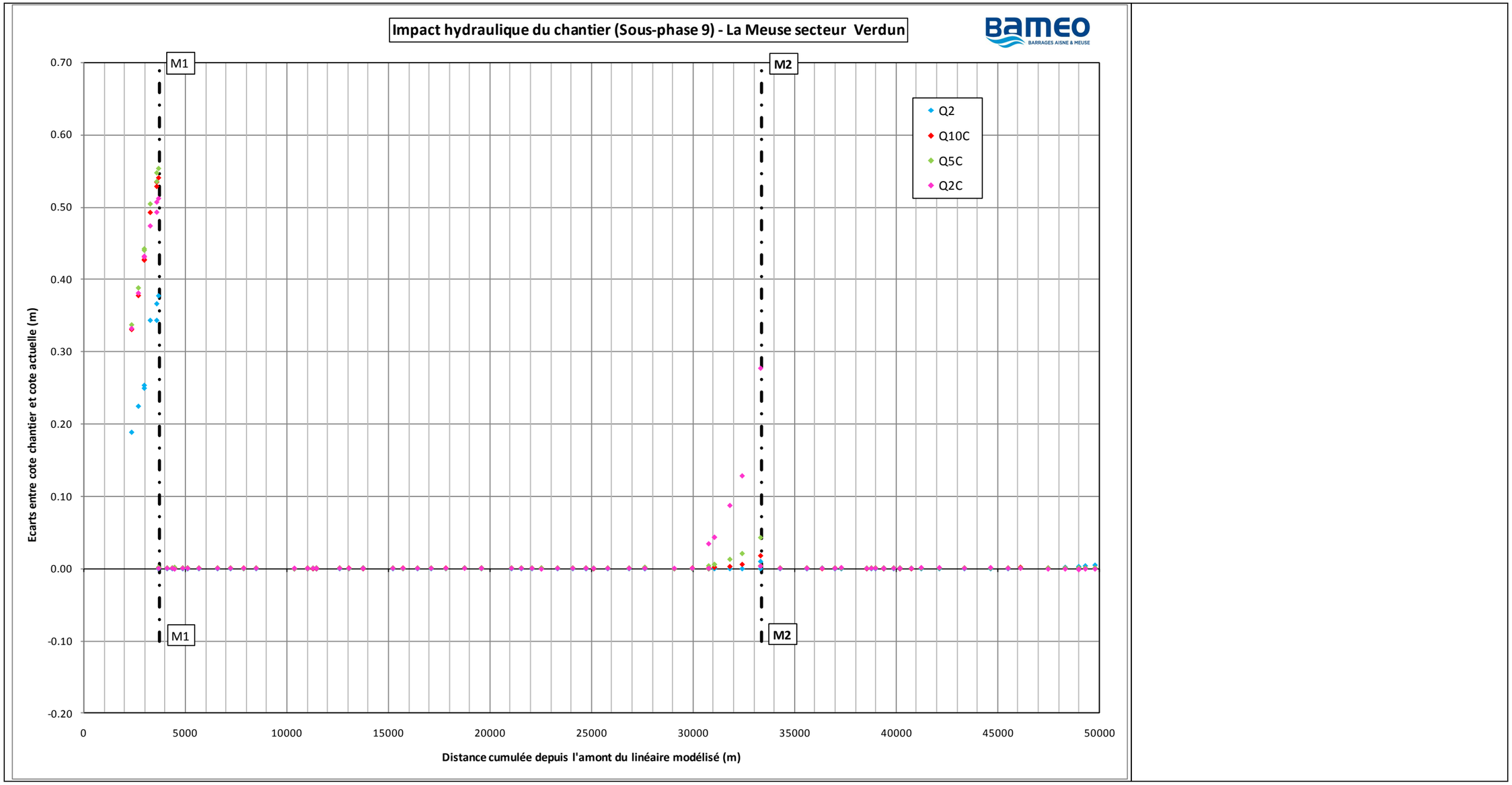
- Les impacts en phase travaux décroissent généralement avec le débit et donc l'occurrence de crue considérée
- Que ces impacts peuvent atteindre plusieurs dizaines de centimètres au droit de certains barrages
- Que ces impacts s'atténuent logiquement en amont de chaque barrage mais ne s'annulent pas pour autant à la fin de chaque bief, les impacts résiduels venant alors s'ajouter aux impacts propres au barrage suivant immédiatement en amont

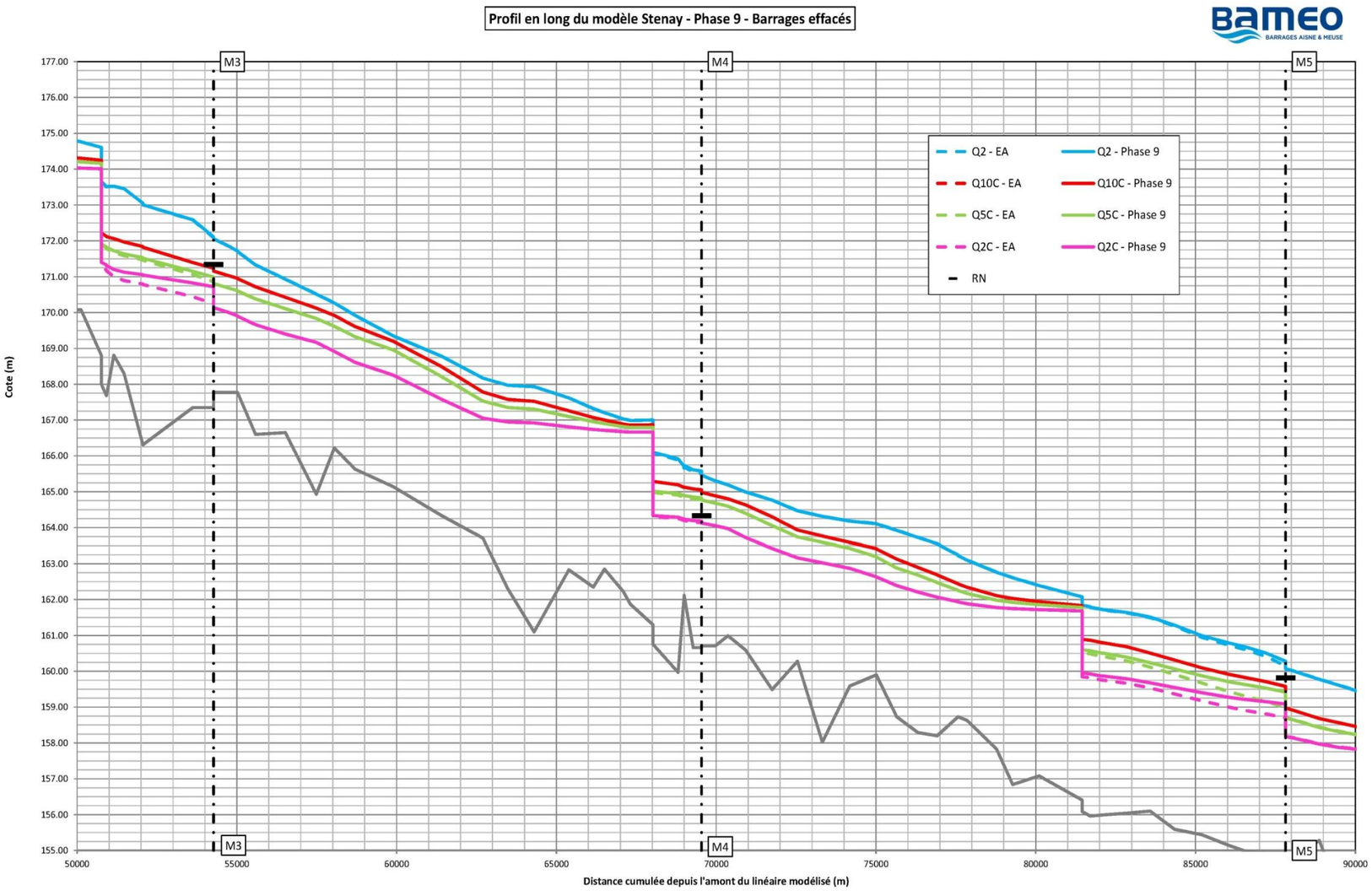
Comme cela sera explicité au chapitre 3.8, l'ampleur de ces impacts sera toutefois à mettre en correspondance avec les enjeux existants. En effet :

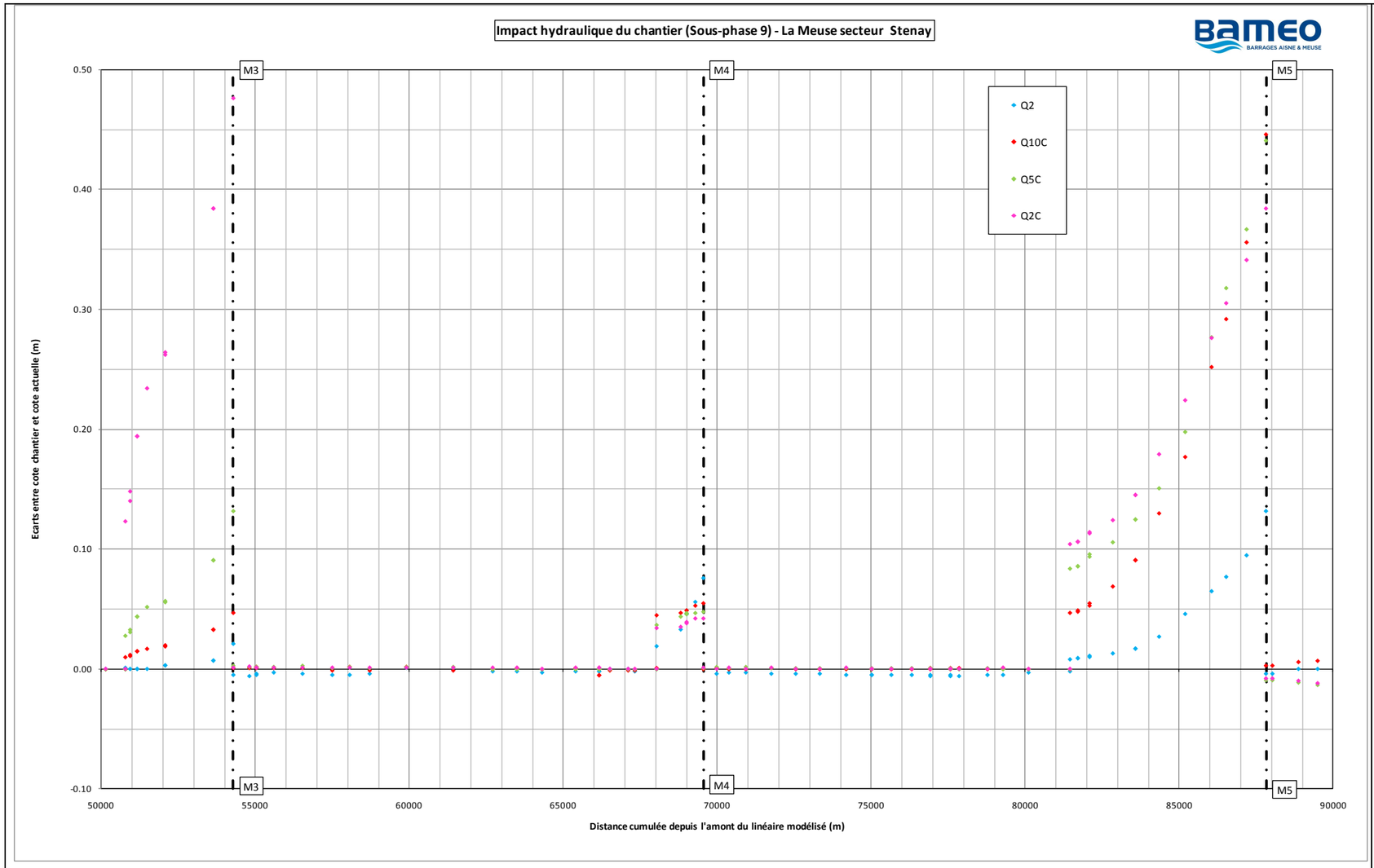
- Pour les faibles débits pour lesquels les impacts sont les plus importants, il est fort probable que ces enjeux disposent d'une marge de sécurité importante (en terme d'altimétrie) par rapport au niveau de la Meuse en état actuel ou projet (non influencé par les travaux)
- A l'inverse, pour les débits plus importants où le risque d'inondation est a priori plus sensible, les impacts sont plus faibles voire négligeables une fois que le batardeau aura été démonté

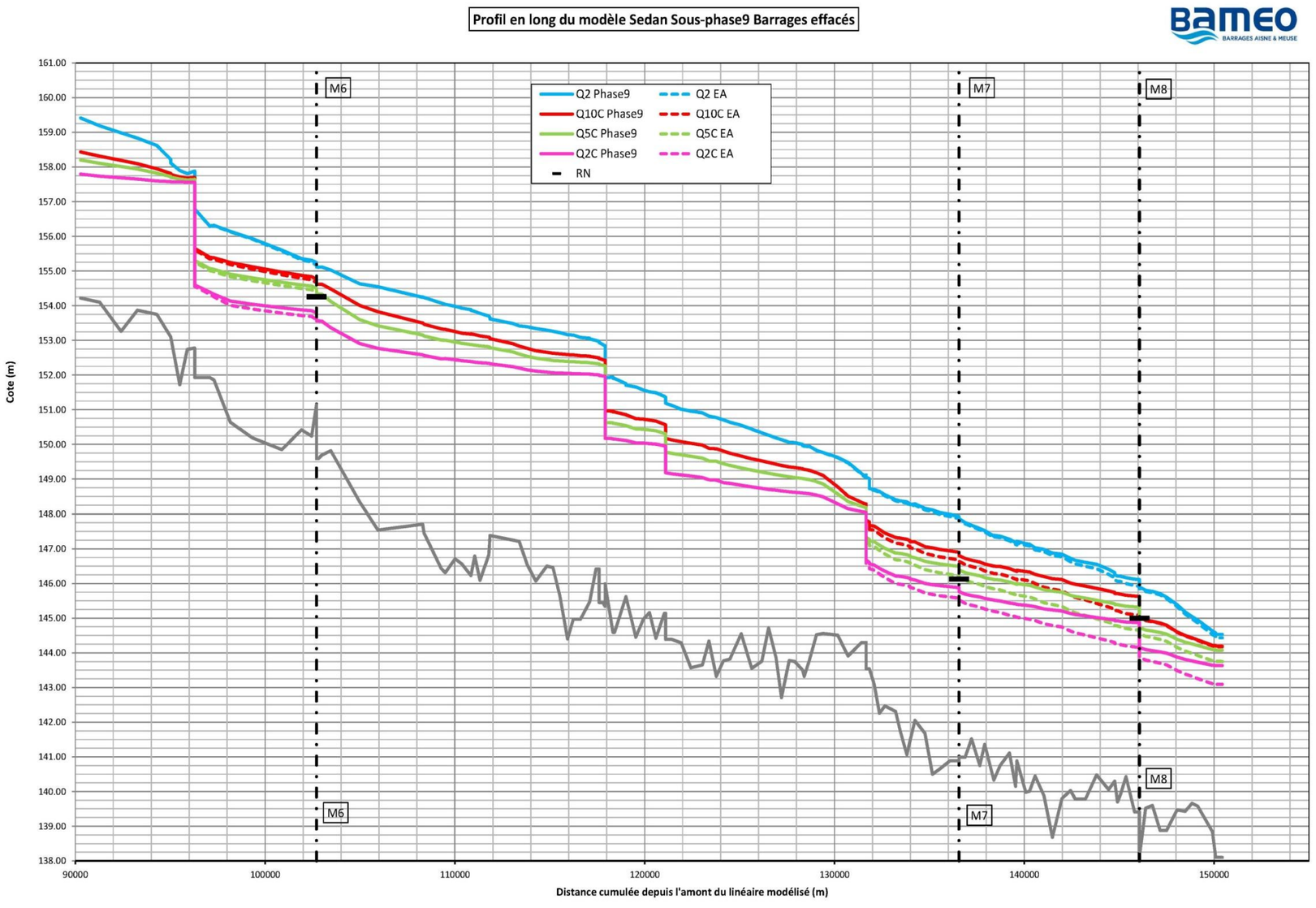
Ce raisonnement et sa vérification au linéaire de la Meuse étudié et modélisé sera illustré au §3.8 au travers des relations cote / débit établies dans les différentes situations (actuelle, projet, travaux).


Profil en long du modèle Verdun - Phase 9 - Barrages effacés
M1
M2
195.00
190.00
185.00
180.00
175.00
170.00
Cote (m)
2000
7000
12000
17000
22000
27000
32000
37000
42000
47000
Distance cumulée depuis l'amont du linéaire modélisé (m)
Q2 - EA
Q2 - Phase 9
Q10C - EA
Q10C - Phase 9
Q5C - EA
Q5C - Phase 9
Q2C - EA
Q2C - Phase 9
RN

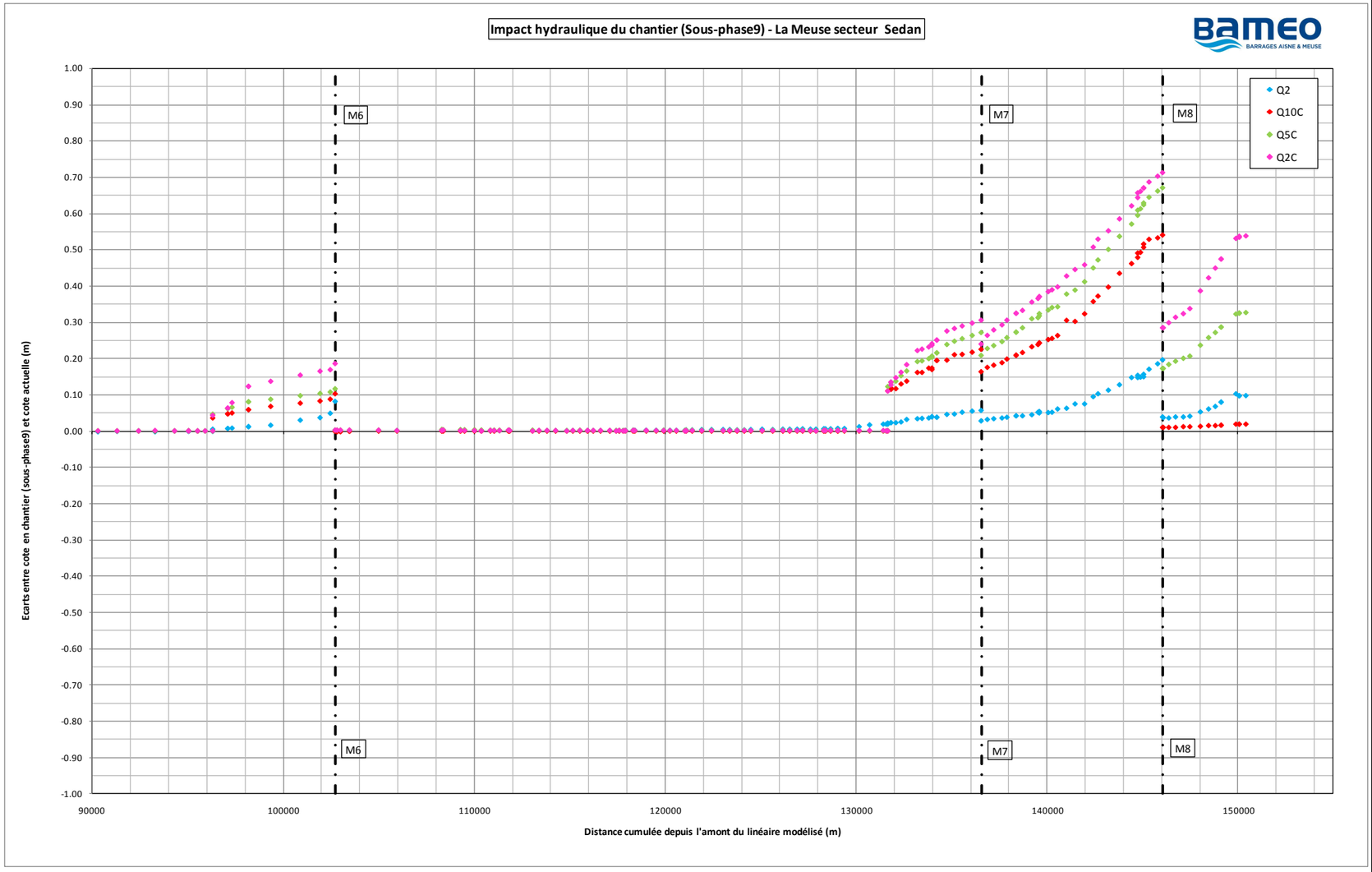

Impact hydraulique du chantier (Sous-phase 9) - La Meuse secteur Verdun
M1
M2
Q2
Q10C
Q5C
Q2C
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
-0.10
-0.20
Ecarts entre cote chantier et cote actuelle (m)
0
5000
10000
15000
20000
25000
30000
35000
40000
45000
50000
Distance cumulée depuis l'amont du linéaire modélisé (m)

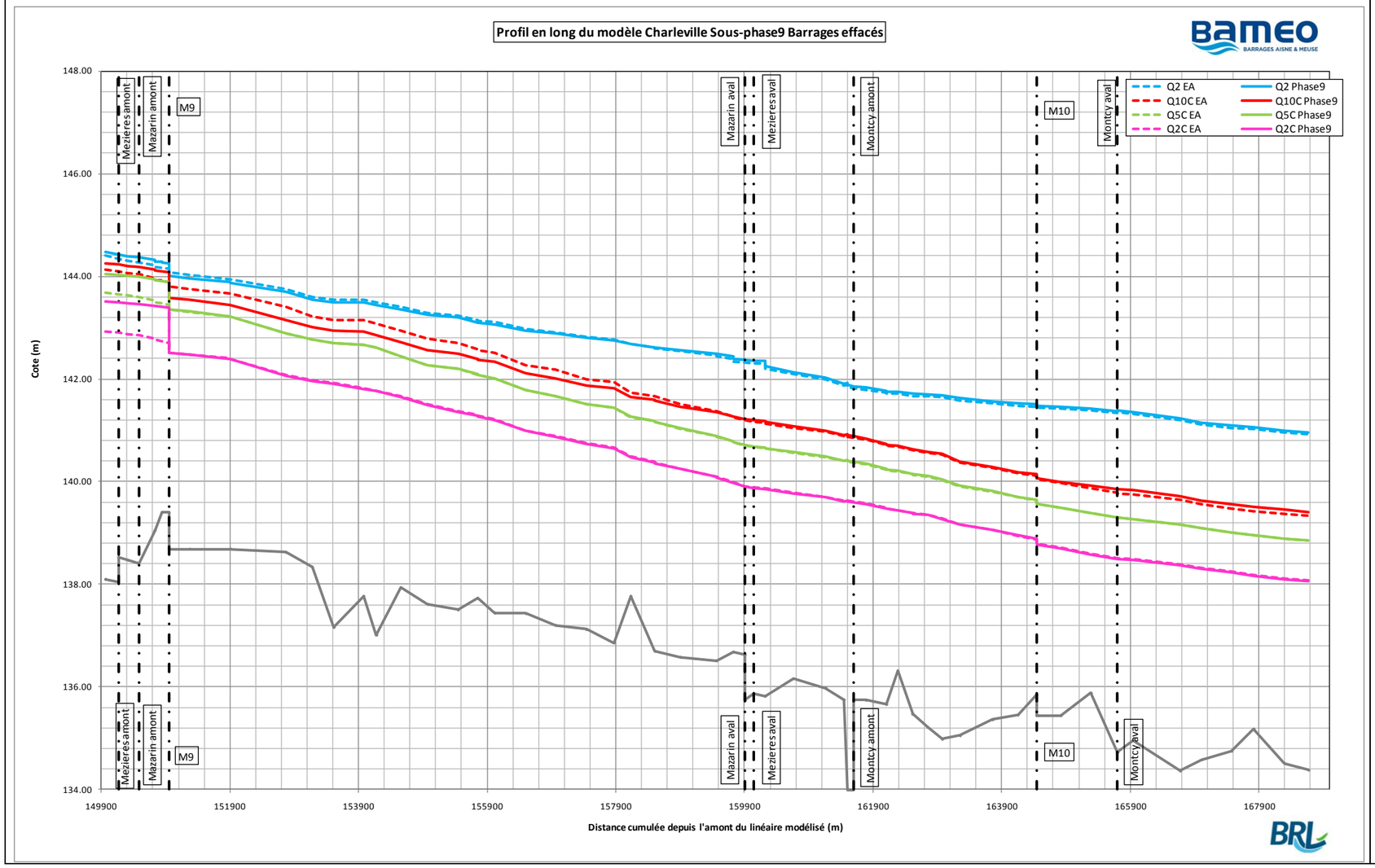

Profil en long du modèle Stenay - Phase 9 - Barrages effacés
M3
M4
M5
Q2 - EA
Q2 - Phase 9
Q10C - EA
Q10C - Phase 9
Q5C - EA
Q5C - Phase 9
Q2C - EA
Q2C - Phase 9
RN
Cote (m)
177.00
176.00
175.00
174.00
173.00
172.00
171.00
170.00
169.00
168.00
167.00
166.00
165.00
164.00
163.00
162.00
161.00
160.00
159.00
158.00
157.00
156.00
155.00
50000
55000
60000
65000
70000
75000
80000
85000
90000
Distance cumulée depuis l'amont du linéaire modélisé (m)

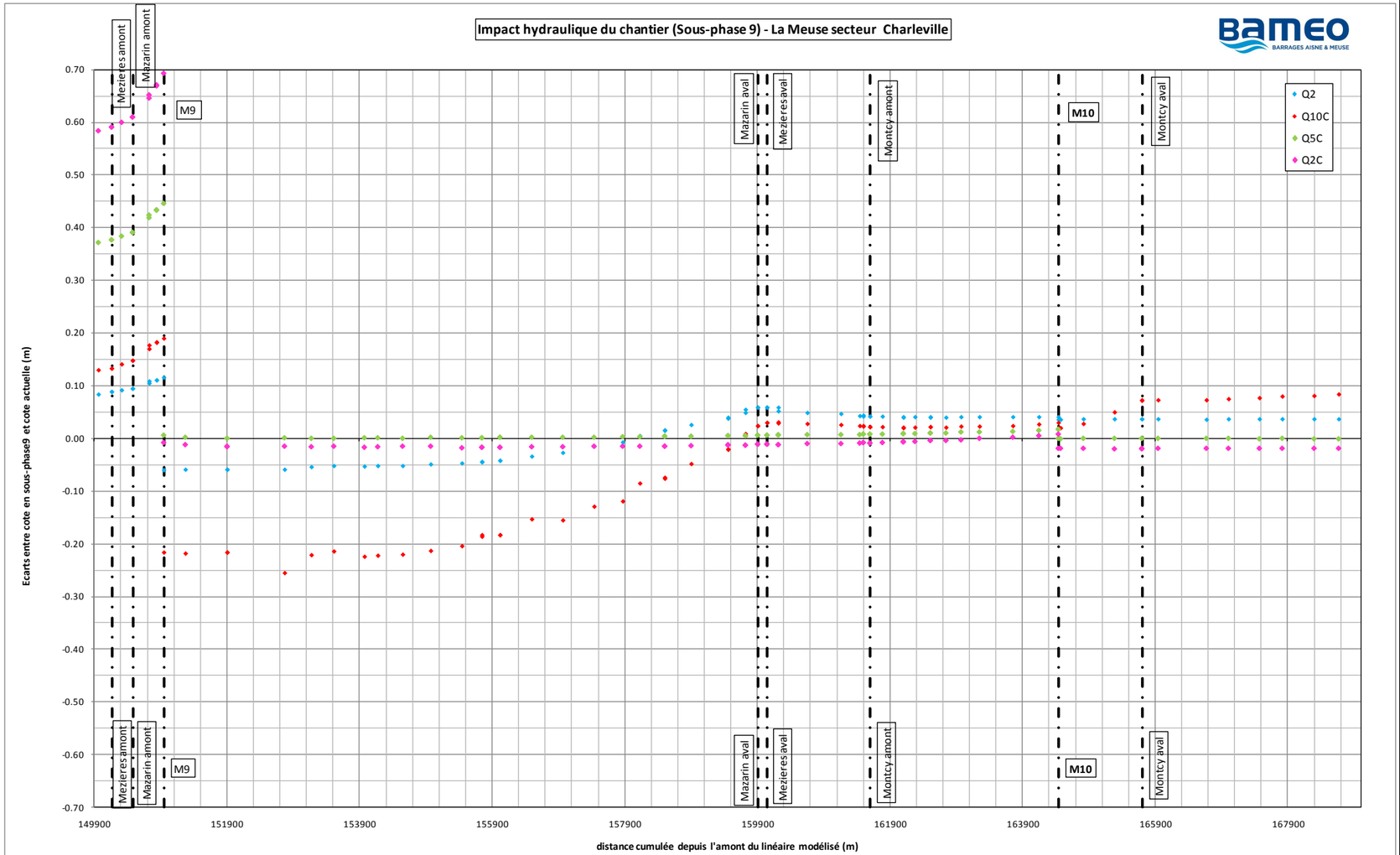

Impact hydraulique du chantier (Sous-phase 9) - La Meuse secteur Stenay
M3
M4
M5
Q2
Q10C
Q5C
Q2C
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
-0.10
Ecarts entre cote chantier et cote actuelle (m)
50000
55000
60000
65000
70000
75000
80000
85000
90000
Distance cumulée depuis l'amont du linéaire modélisé (m)


Profil en long du modèle Sedan Sous-phase9 Barrages effacés
Q2 Phase9
Q10C Phase9
Q5C Phase9
Q2C Phase9
RN
Q2 EA
Q10C EA
Q5C EA
Q2C EA
M6
M7
M8
Cote (m)
161.00
160.00
159.00
158.00
157.00
156.00
155.00
154.00
153.00
152.00
151.00
150.00
149.00
148.00
147.00
146.00
145.00
144.00
143.00
142.00
141.00
140.00
139.00
138.00
90000
100000
110000
120000
130000
140000
150000
Distance cumulée depuis l'amont du linéaire modélisé (m)

ETUDE HYDRAULIQUE SUR LA MEUSE DE VERDUN A LA FRONTIERE BELGE




Profil en long du modèle Charleville Sous-phase9 Barrages effacés
Cote (m)
148.00
146.00
144.00
142.00
140.00
138.00
136.00
134.00
149900
151900
153900
155900
157900
159900
161900
163900
165900
167900
Distance cumulée depuis l'amont du linéaire modélisé (m)
Mezieres amont
Mazarin amont
M9
Mazarin aval
Mezieres aval
Montcy amont
M10
Montcy aval
Q2 EA
Q10C EA
Q5C EA
Q2C EA
Q2 Phase9
Q10C Phase9
Q5C Phase9
Q2C Phase9

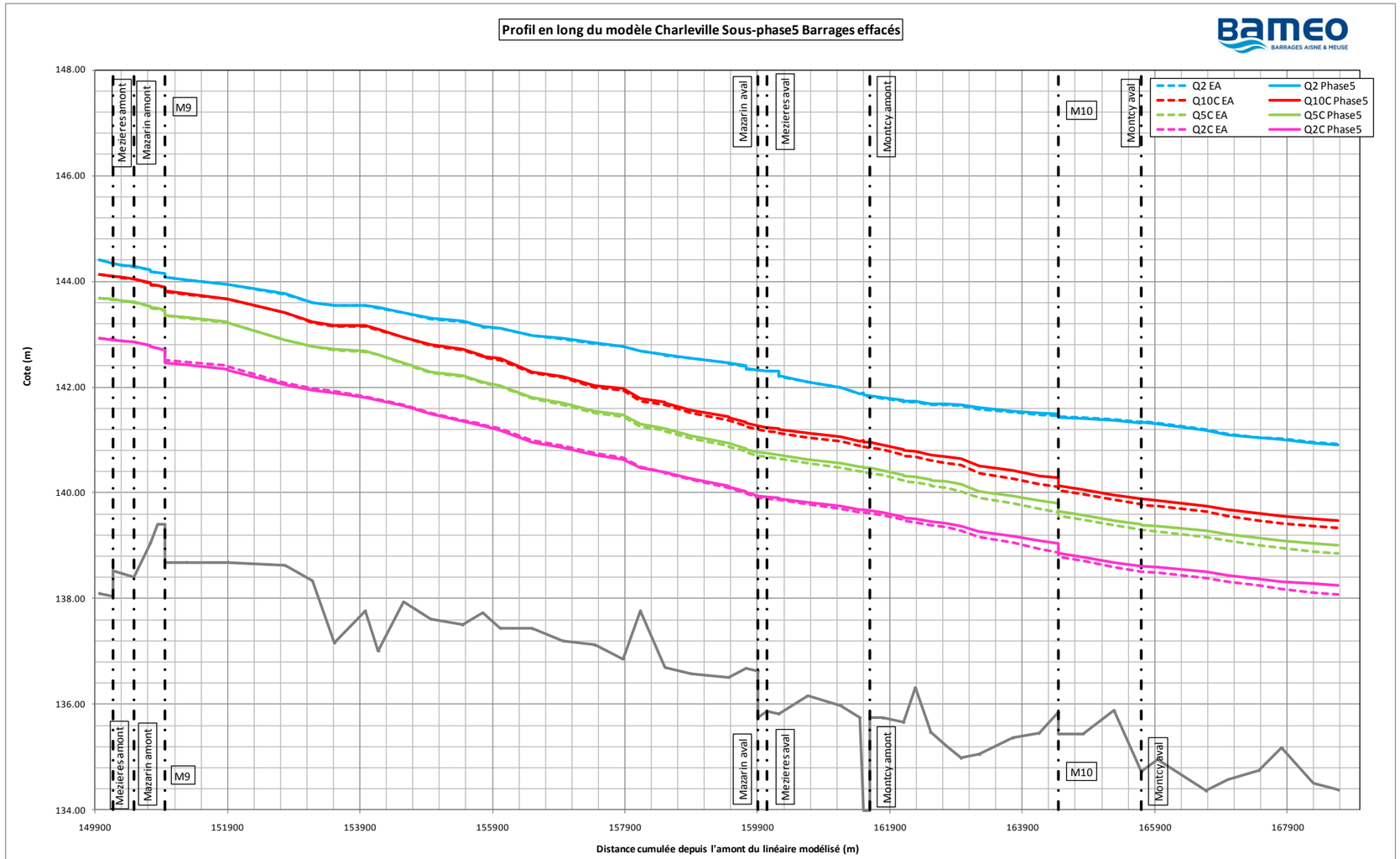


Le profil en long sur le secteur de Charleville présente une particularité lié au fonctionnement hydraulique de la zone dépendant de la répartition des débits entre le lit de la Meuse et les coupures.

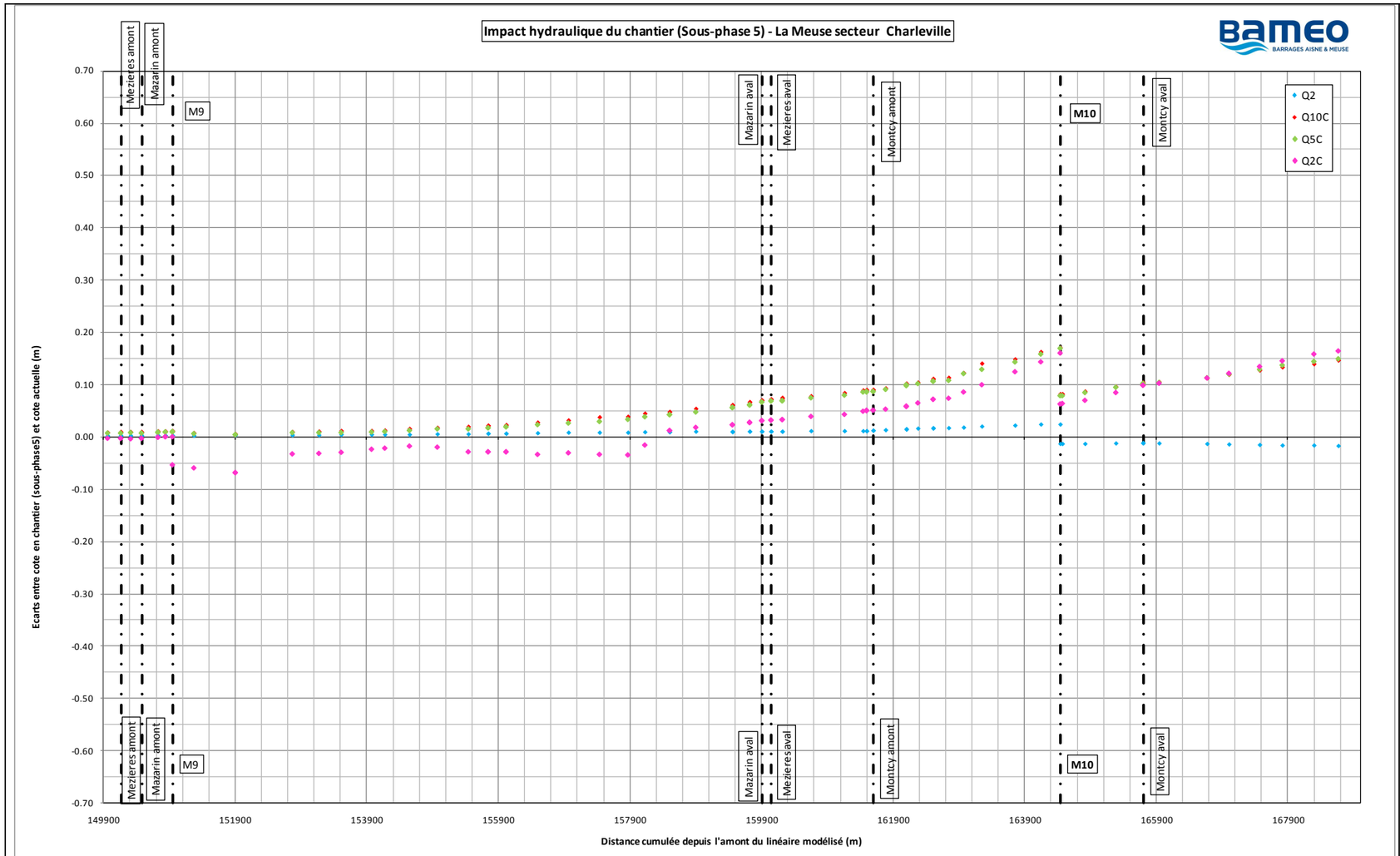
Le profil en long ci-contre est tracé dans l'axe du lit de la Meuse.

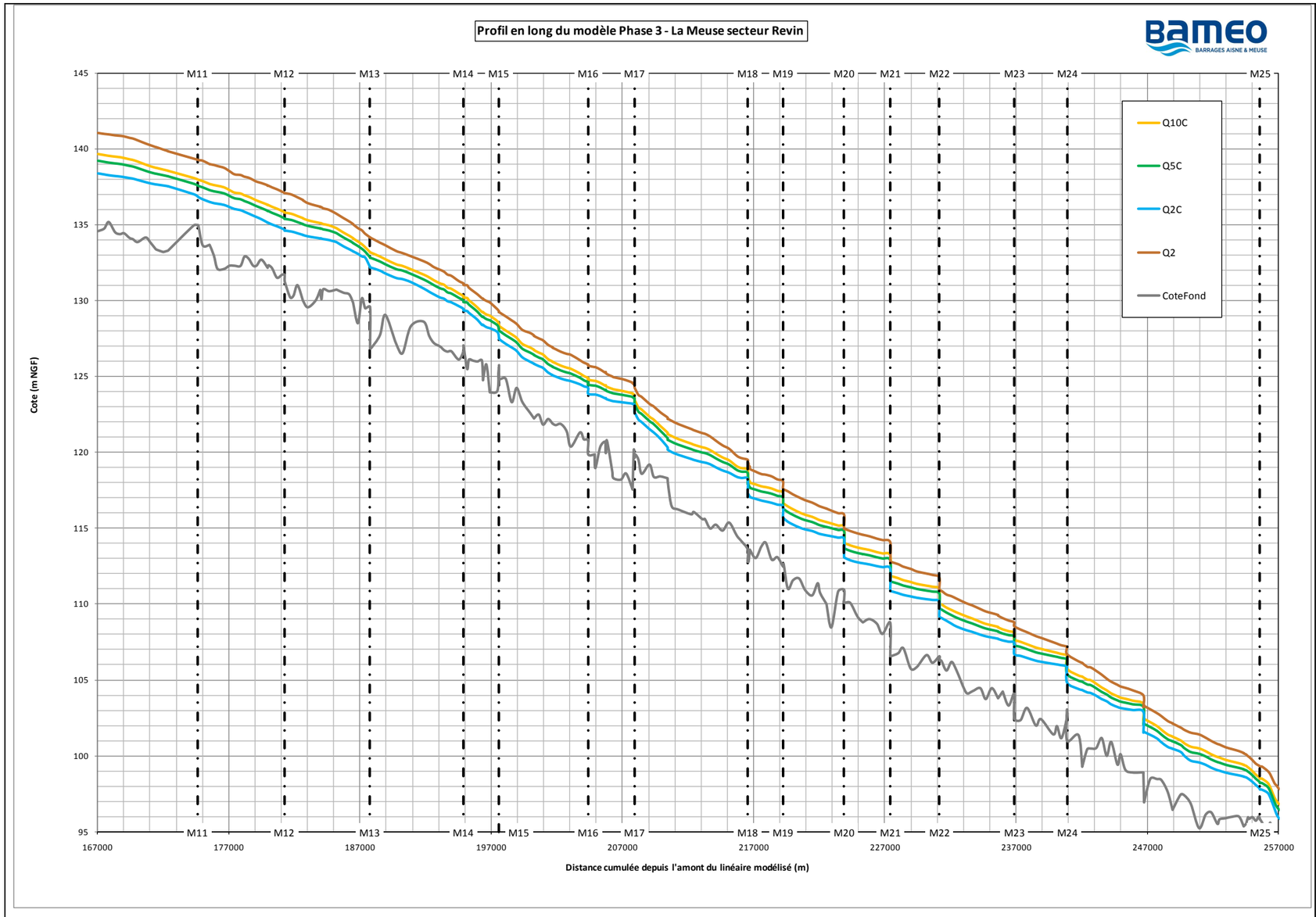
Les impacts qui apparaissent négatifs sur une partie du linéaire s'explique par le fait que l'impact du batardage sur la ligne d'eau crée un exhaussement de la ligne d'eau en amont du barrage M9 ce qui a pour conséquence de dériver un débit vers les coupures plus important qu'en situation de référence. Il s'en suit qu'à l'aval du barrage M9, il transite moins de débit qu'en situation de référence et par conséquent le niveau d'eau est plus faible.

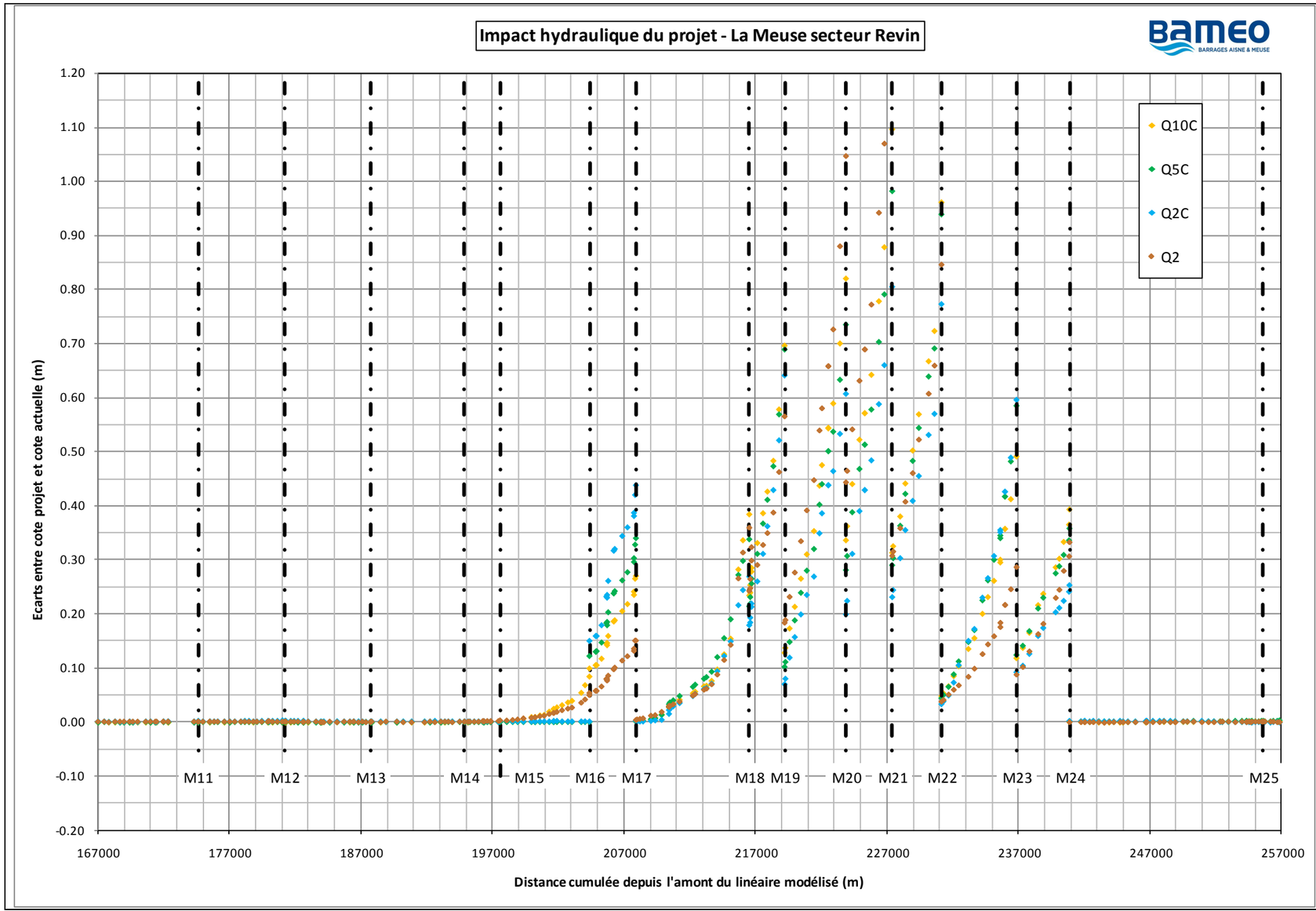
L'incidence de la phase travaux sur la ligne d'eau ne doit donc pas être lue comme négative. Il s'agit en fait d'une modification de la répartition des débits entre les différents axes d'écoulement.

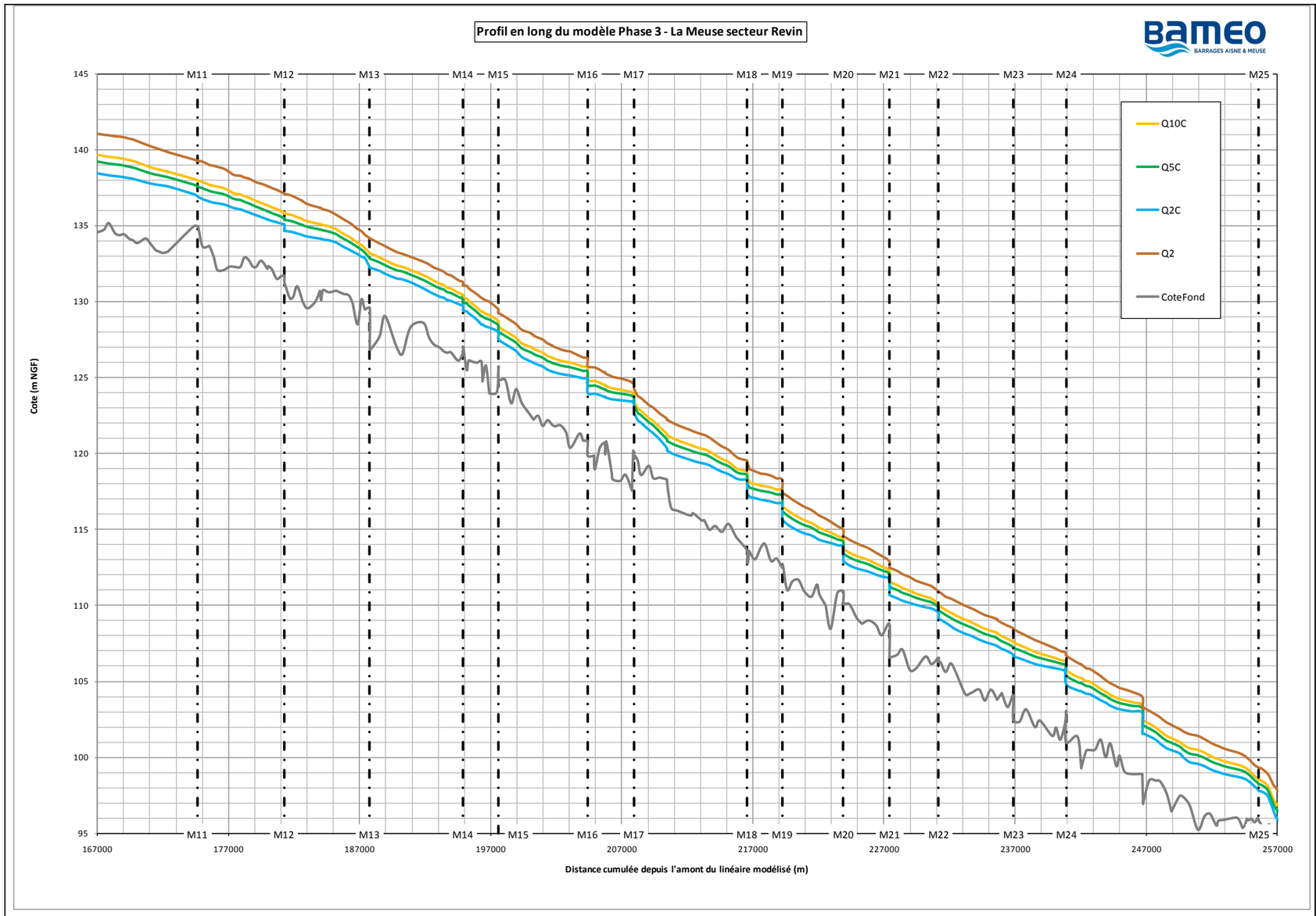

Profil en long du modèle Charleville Sous-phase5 Barrages effacés
Cote (m)
148.00
146.00
144.00
142.00
140.00
138.00
136.00
134.00
149900
151900
153900
155900
157900
159900
161900
163900
165900
167900
Distance cumulée depuis l'amont du linéaire modélisé (m)
Mezieres amont
Mazarin amont
M9
Mazarin aval
Mezieres aval
Montcy amont
M10
Montcy aval
Q2 EA
Q10C EA
Q5C EA
Q2C EA
Q2 Phase5
Q10C Phase5
Q5C Phase5
Q2C Phase5

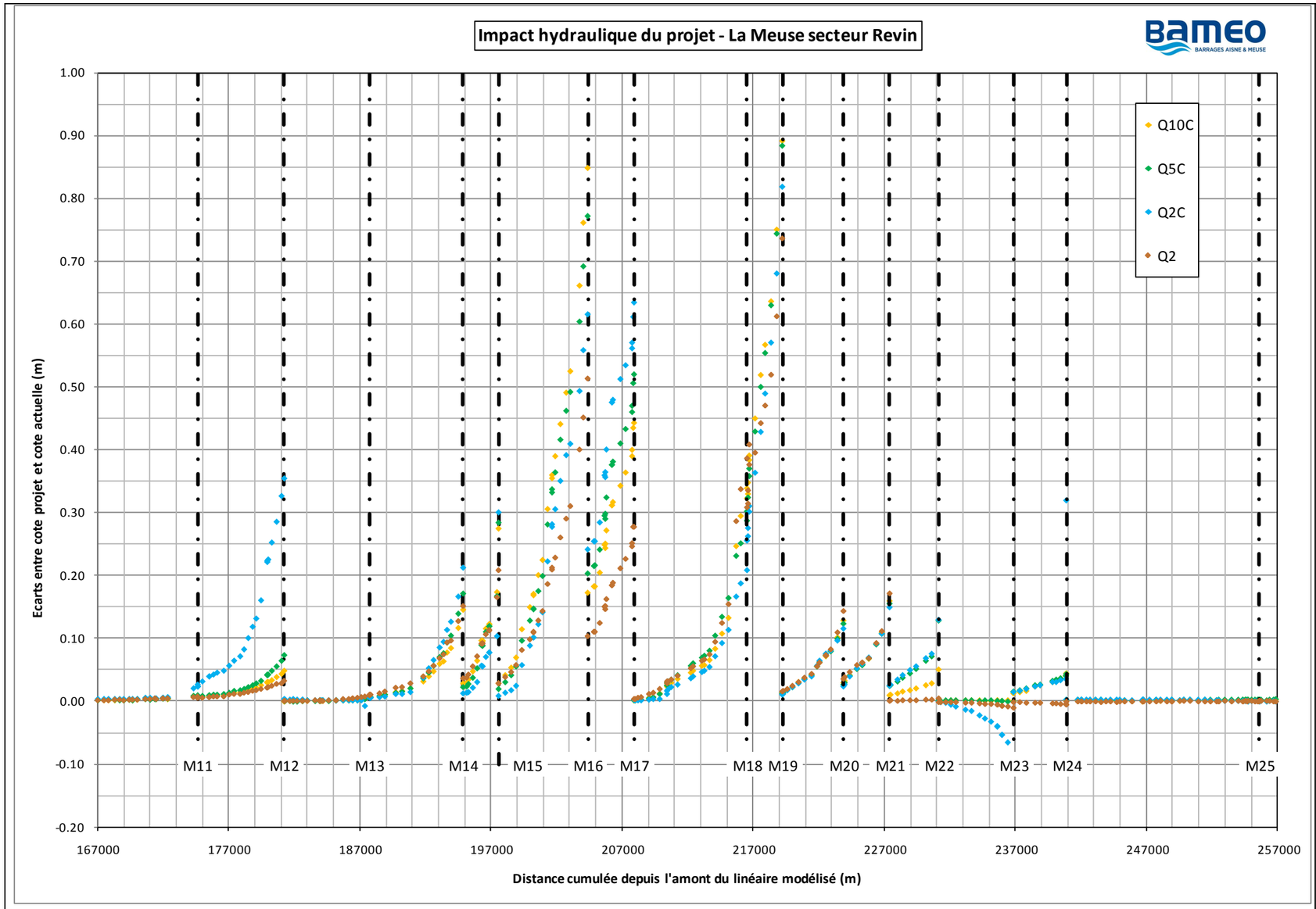
ETUDE HYDRAULIQUE SUR LA MEUSE DE VERDUN A LA FRONTIERE BELGE




Profil en long du modèle Phase 3 - La Meuse secteur Revin
Cote (m NGF)
145
140
135
130
125
120
115
110
105
100
95
M11
M12
M13
M14
M15
M16
M17
M18
M19
M20
M21
M22
M23
M24
M25
167000
177000
187000
197000
207000
217000
227000
237000
247000
257000
Distance cumulée depuis l'amont du linéaire modélisé (m)
Q10C
Q5C
Q2C
Q2
CoteFond


Impact hydraulique du projet - La Meuse secteur Revin
Q10C
Q5C
Q2C
Q2
Ecarts entre cote projet et cote actuelle (m)
1.20
1.10
1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
-0.10
-0.20
M11
M12
M13
M14
M15
M16
M17
M18
M19
M20
M21
M22
M23
M24
M25
167000
177000
187000
197000
207000
217000
227000
237000
247000
257000
Distance cumulée depuis l'amont du linéaire modélisé (m)


Profil en long du modèle Phase 3 - La Meuse secteur Revin
Cote (m NGF)
145
140
135
130
125
120
115
110
105
100
95
M11
M12
M13
M14
M15
M16
M17
M18
M19
M20
M21
M22
M23
M24
M25
167000
177000
187000
197000
207000
217000
227000
237000
247000
257000
Distance cumulée depuis l'amont du linéaire modélisé (m)
Q10C
Q5C
Q2C
Q2
CoteFond


Impact hydraulique du projet - La Meuse secteur Revin
Ecarts entre cote projet et cote actuelle (m)
1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
-0.10
-0.20
Q10C
Q5C
Q2C
Q2
M11
M12
M13
M14
M15
M16
M17
M18
M19
M20
M21
M22
M23
M24
M25
167000
177000
187000
197000
207000
217000
227000
237000
247000
257000
Distance cumulée depuis l'amont du linéaire modélisé (m)

3.8. APPROCHE SYNTHETIQUE DE L'INCIDENCE HYDRAULIQUE DU PROJET

En complément aux lignes d'eau pour différents débits, les impacts sont analysés en traçant au droit de points particuliers (site de projet de barrage, enjeux et stations hydrométriques) les relations cote altimétrique / débit obtenues par le modèle hydraulique global pour chacune des situations (actuelle, projet, travaux).

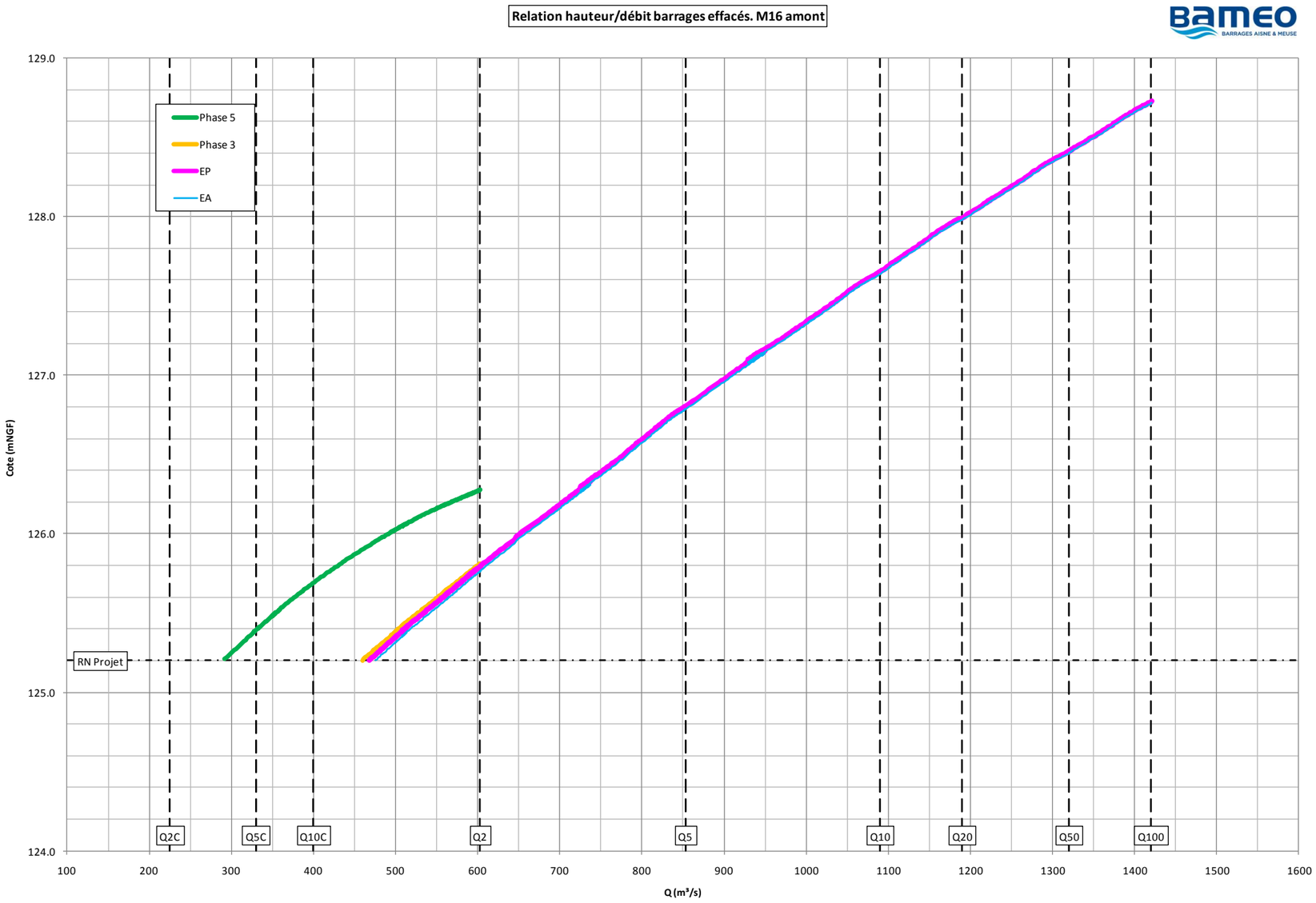
3.8.1. Impact hydraulique des travaux au droit des barrages

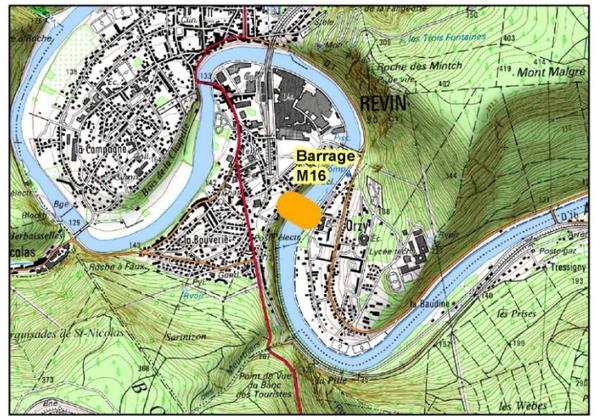
Les relations cote / débit sont ici tracées à l'amont immédiat de chaque barrage, là où l'impact du projet est maximal.

Ces graphiques permettent notamment d'apprécier :
- L'évolution de l'impact du projet pour toute la gamme de débit pour lesquels le barrage est effacé (étant entendu que tant que le barrage est régulé à la RN, l'incidence est nécessairement nulle)
- Les éventuelles modifications de débit d'effacement

La figure ci-après fournit un exemple d'un tel graphique sur le barrage M16. Les graphes de l'ensemble des barrages sont disponibles en annexe.

On s'aperçoit sur cet exemple :
- Que l'impact du projet est faible quel que soit le débit (cf. §3.6)
- Que l'impact en phase travaux au-delà de la zone de régulation est maximum pour Q10 chantier en phase travaux 5 (environ 80 cm)
- Que le débit d'effacement théorique en situation projet est d'environ 470 m3/s
- Que le débit d'effacement théorique durant la phase 5 de travaux est de 300 m3/s
- Que le débit d'effacement théorique durant la phase 3 de travaux est de 470 m3/s (quasiment égal à la situation actuelle)


Relation hauteur/débit barrages effacés. M16 amont
Phase 5
Phase 3
EP
EA
Cote (mNGF)
129.0
128.0
127.0
126.0
125.0
124.0
RN Projet
Q2C
Q5C
Q10C
Q2
Q5
Q10
Q20
Q50
Q100
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
1400
1500
1600
Q (m³/s)


REVIN
Barrage
M16
Urzy
Roche des Mintch
Mont Malgré
Tressigny
les Prises
les Webes

3.8.2. Impact hydraulique des travaux au droit des enjeux inondables

Afin d'analyser l'impact des travaux sur les enjeux inondables, des courbes figurant la relation cote altimétrique / débit sont établies pour chacune des situations (actuelle, projet, travaux) au droit des secteurs les plus sensibles.

L'altimétrie des enjeux est ensuite positionnée sur ces courbes afin d'identifier :
- Les débits (et occurrence de crue) pour lesquels les premiers enjeux sont touchés
- Les impacts hydrauliques

La définition de la cote altimétrique des enjeux a été réalisée à partir de la donnée topographique disponible (LIDAR source IGN). Au droit de chacune des zones à enjeux analysées, la « cote enjeu » indiquée sur les graphiques est une valeur moyenne de la topographie du terrain au niveau des premiers batis inondables.

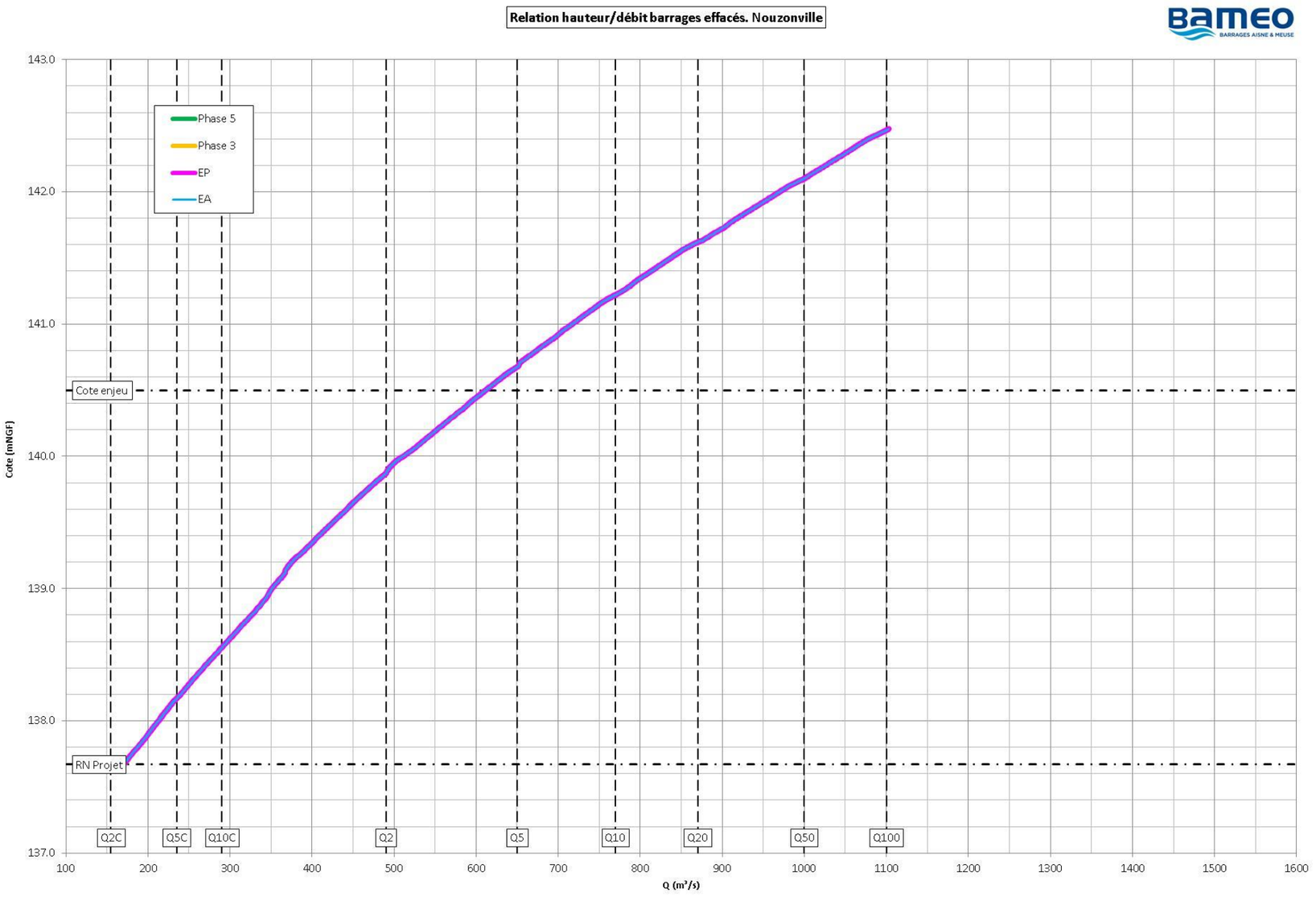
La figure ci-après fournit un échantillon des graphiques produits sur les secteurs de Nouzonville, Deville, Aubrives et Givet. D'autres graphes sont disponibles en annexe.

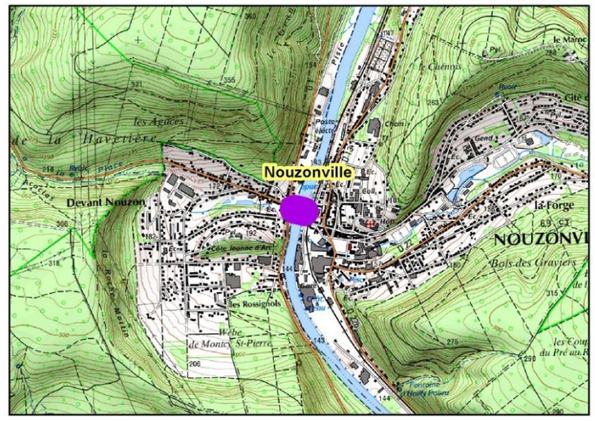
On s'aperçoit sur cet exemple :
- Qu'en situation actuelle comme en situation projet les premiers enjeux commencent à être inondés entre Q2 et Q5
- Que pour la crue décennale de chantier, l'impact cumulé de la phase 3 de travaux génère un exhaussement d'environ 25 cm au niveau du secteur d'Aubrives
- Que pour la crue décennale de chantier, les premiers enjeux inondables (toujours sur le site d'Aubrives à titre d'exemple) sont néanmoins encore situés à plus de 80 cmau dessus du niveau de la Meuse

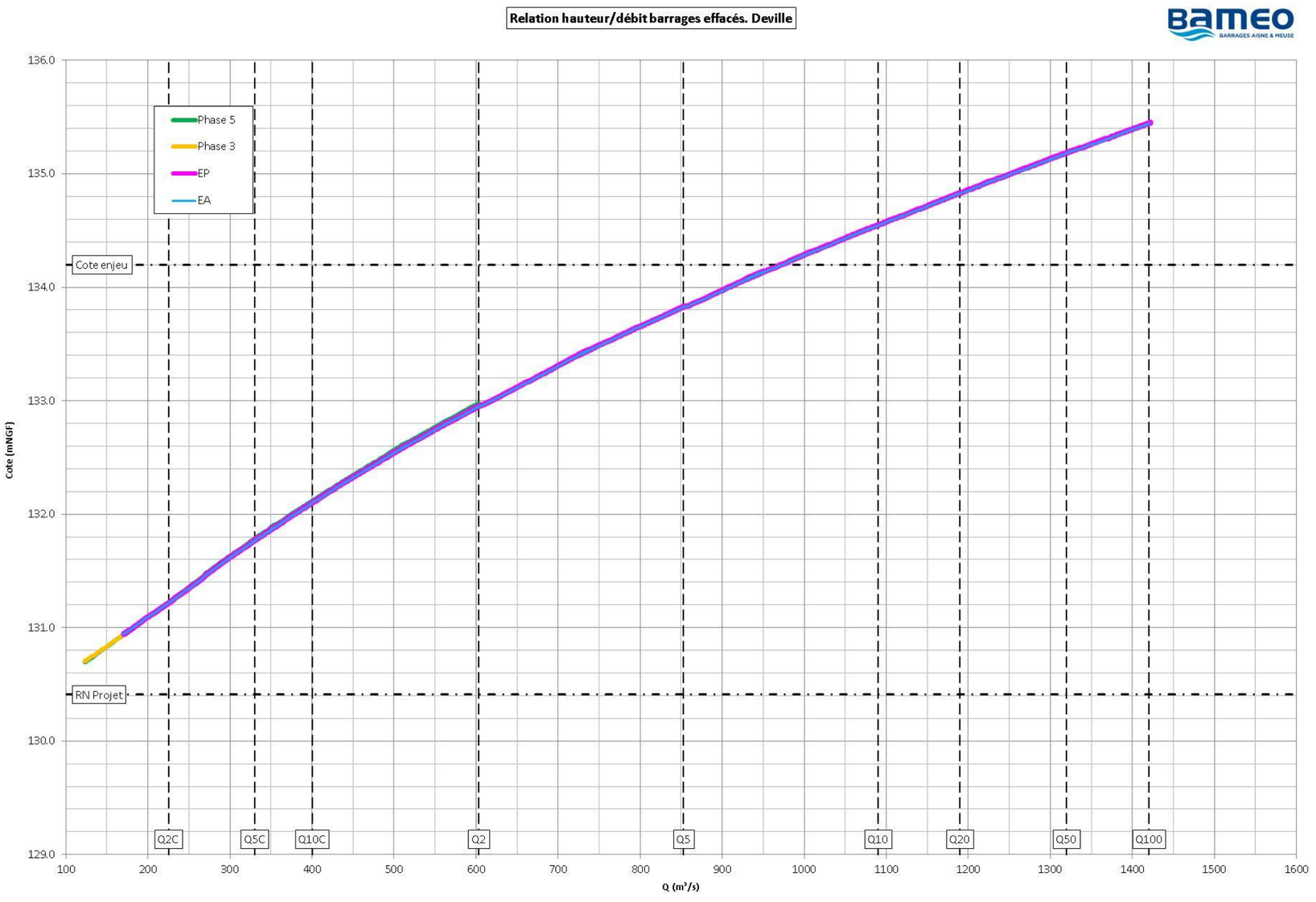
Les graphes similaires pour d'autres secteurs sensibles sont disponibles en annexe.

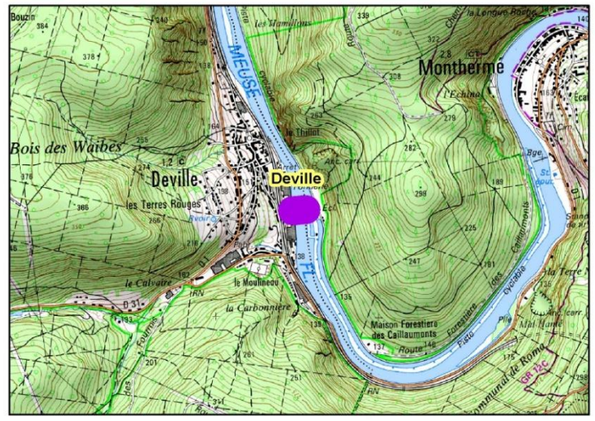
De manière générale, on observe sur ces différents graphes que les niveaux pour lequels les premiers enjeux sont inondés sont compris en état actuel entre Q2 et Q10 voire Q20.

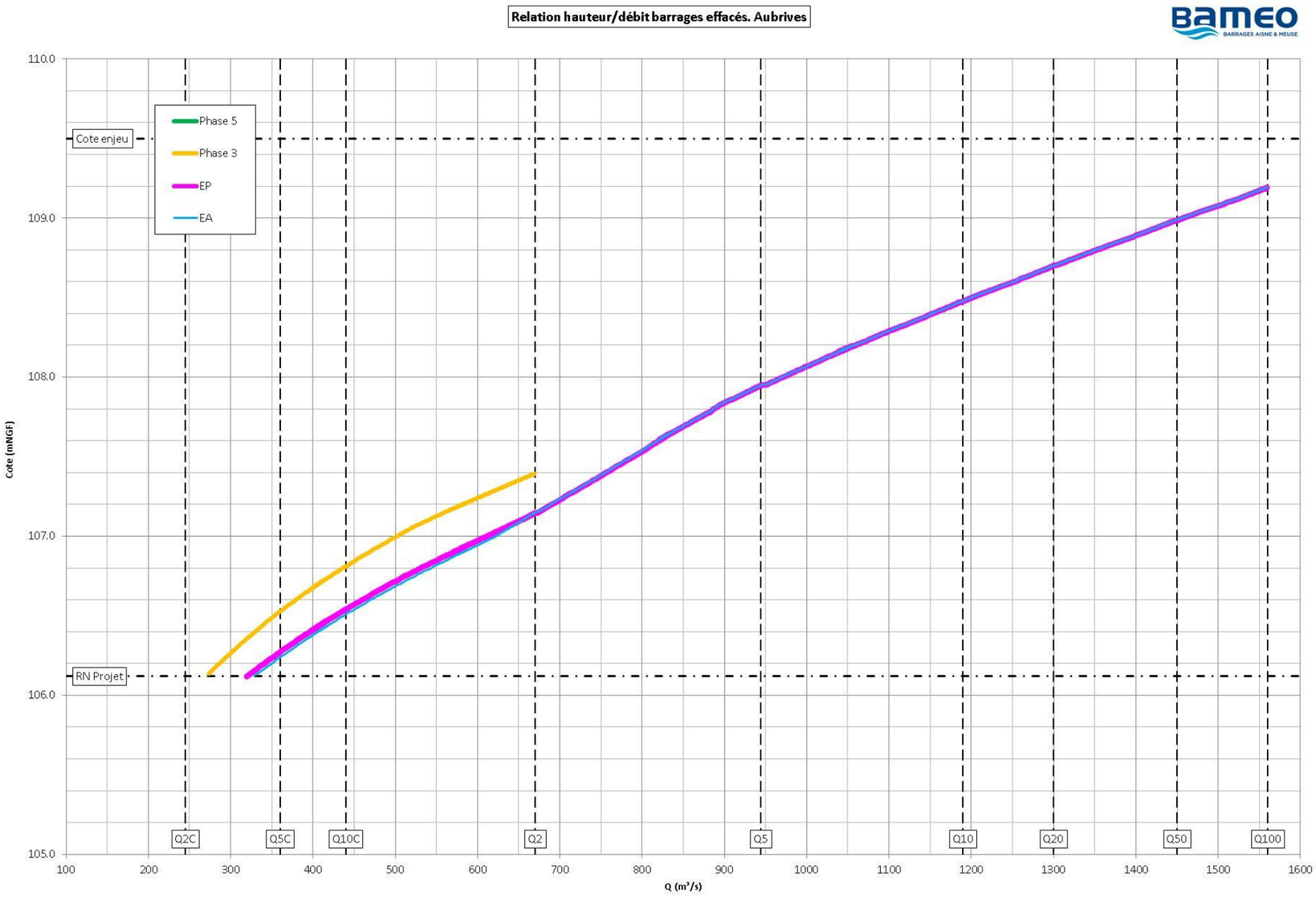
En état projet, l'impact du barrage étant négligeable, ces occurrences ne sont pas modifiées.
En phase travaux (pour la crue décennale de chantier), malgré l'exhaussement généré par les travaux, il reste encore une revanche d'au moins 60 cm et plus généralement plus d'un mètre entre le niveau d'eau dans la Meuse et les enjeux inondables.

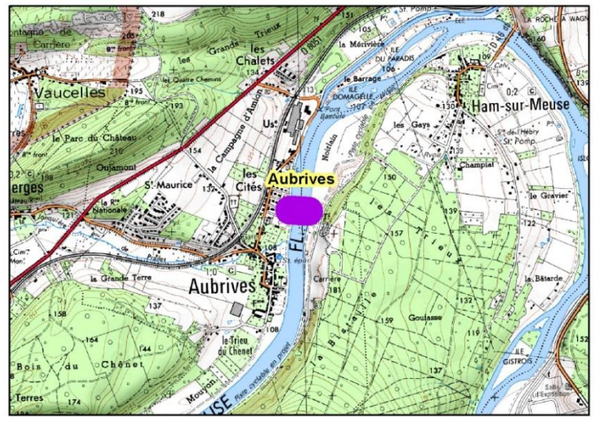

Relation hauteur/débit barrages effacés. Nouzonville
Phase 5
Phase 3
EP
EA
Cote enjeu
RN Projet
Q2C
Q5C
Q10C
Q2
Q5
Q10
Q20
Q50
Q100
Cote (mNGF)
Q (m³/s)
143.0
142.0
141.0
140.0
139.0
138.0
137.0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
1400
1500
1600

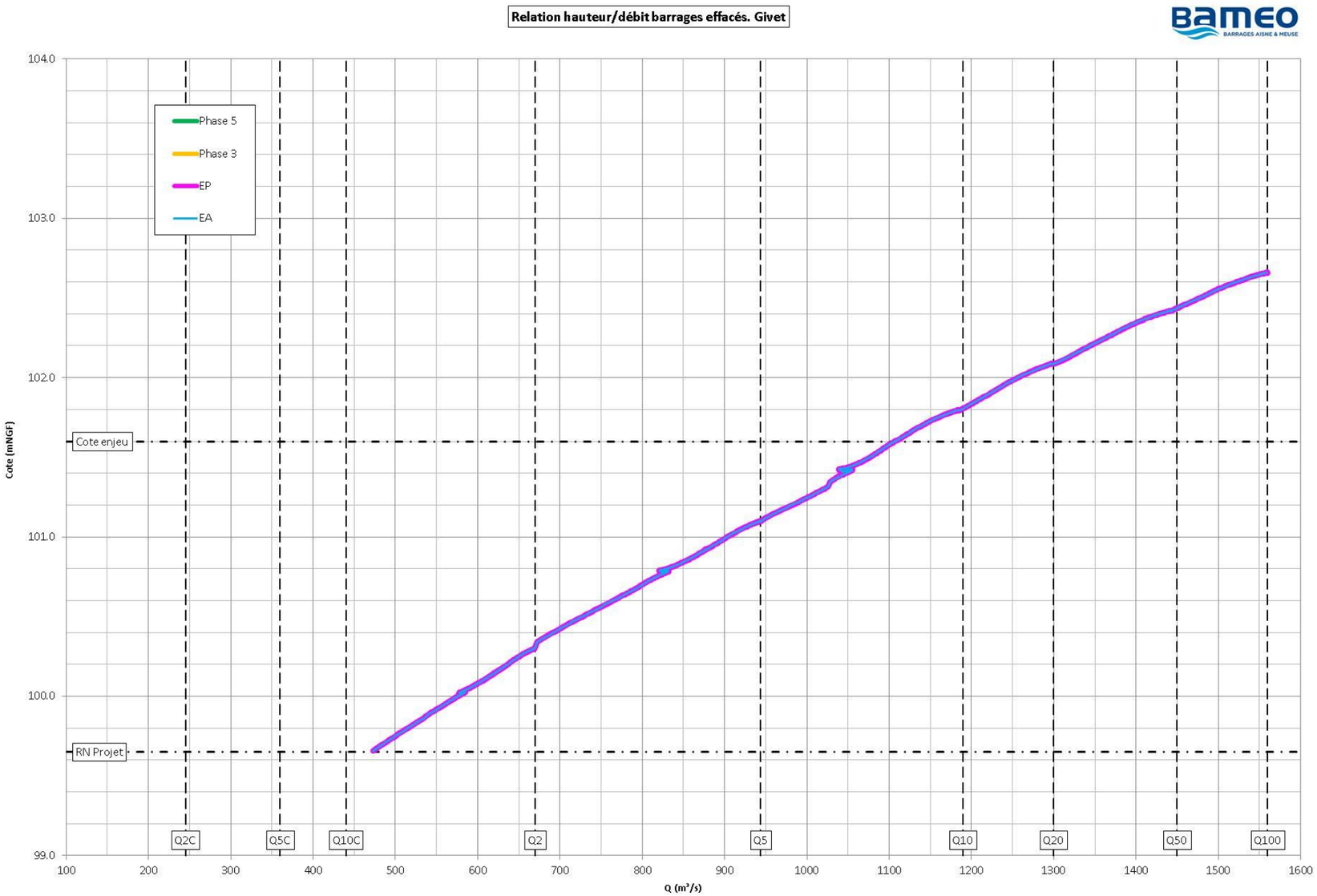

Nouzonville
Devant Nouzon
la Forge
les Rossignols

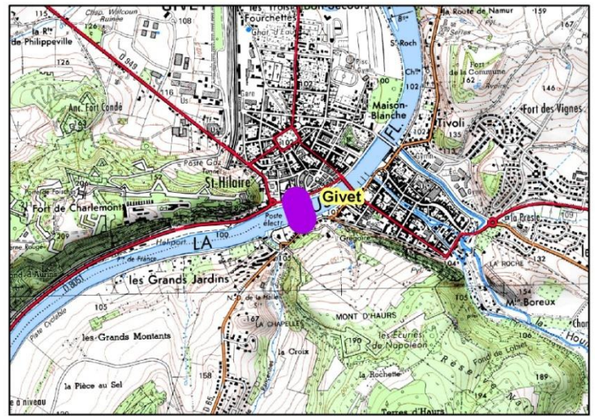

Relation hauteur/débit barrages effacés. Deville
Phase 5
Phase 3
EP
EA
Cote enjeu
RN Projet
Q2C
Q5C
Q10C
Q2
Q5
Q10
Q20
Q50
Q100
Cote (mNGF)
Q (m³/s)
136.0
135.0
134.0
133.0
132.0
131.0
130.0
129.0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
1400
1500
1600


Deville
Montherme
Bois des Waibes
les Terres Rouges
le Calvaire
la Carbonnière
MEUSE


Relation hauteur/débit barrages effacés. Aubrives
Phase 5
Phase 3
EP
EA
Cote enjeu
RN Projet
Q2C
Q5C
Q10C
Q2
Q5
Q10
Q20
Q50
Q100
Cote (mNGF)
Q (m³/s)
110.0
109.0
108.0
107.0
106.0
105.0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
1400
1500
1600


Vaucelles
Ham-sur-Meuse
Aubrives
les Cités
les Chalets
S.t Maurice
Aubrives
Bois du Chênet
Terres


Relation hauteur/débit barrages effacés. Givet
Phase 5
Phase 3
EP
EA
Cote enjeu
RN Projet
Q2C
Q5C
Q10C
Q2
Q5
Q10
Q20
Q50
Q100
Cote (mNGF)
Q (m³/s)
104.0
103.0
102.0
101.0
100.0
99.0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
1400
1500
1600


Givet
St-Hilaire
Fort de Charlemont
les Grands Jardins
Maison-Blanche
Tivoli
Fort des Vignes
Mt Boreux
MONT D'HAURS
les Grands Montants
la Pièce au Sel
la Rochette
la Croix

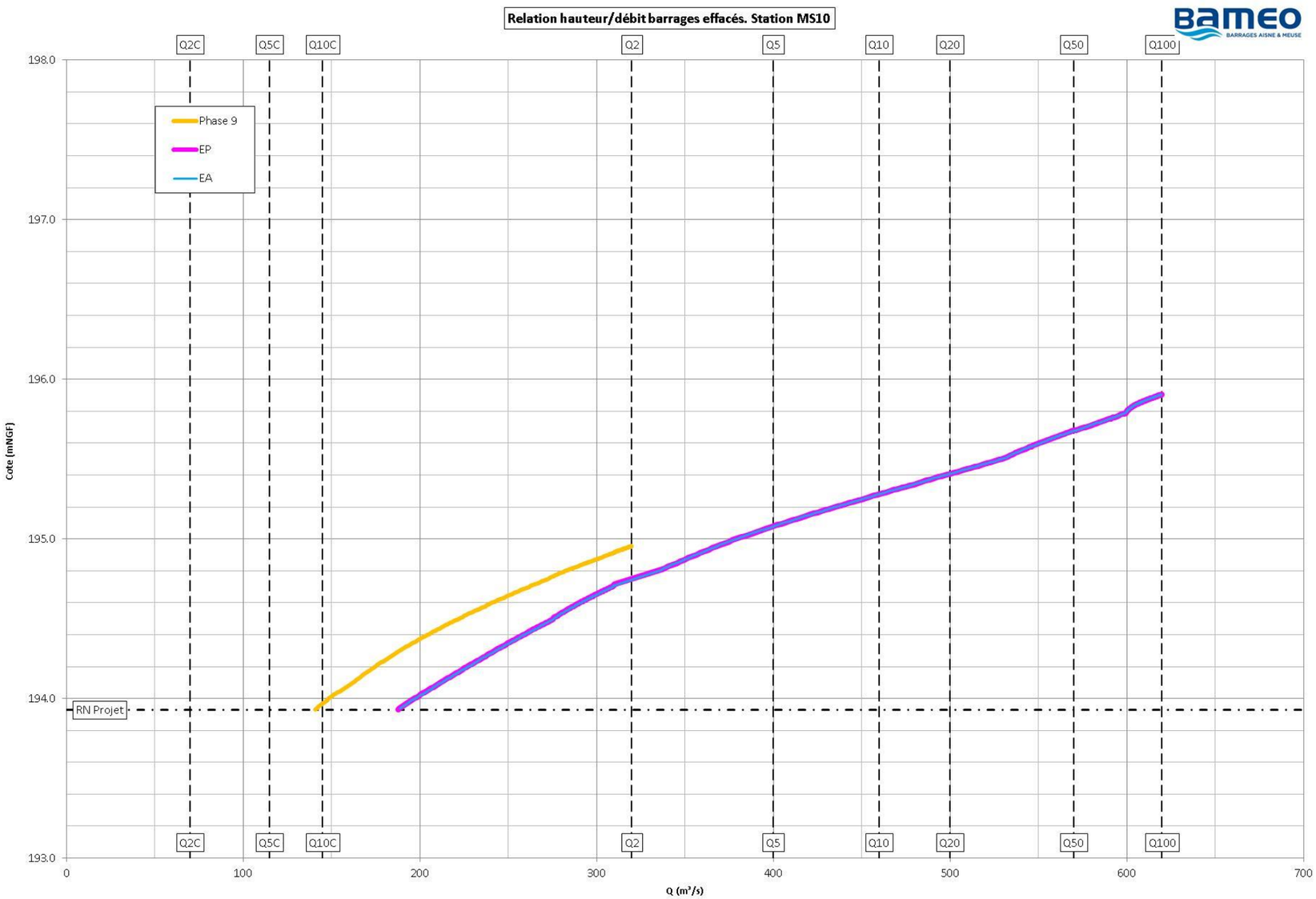
3.8.3. Impact hydraulique des travaux au droit des stations hydrométriques

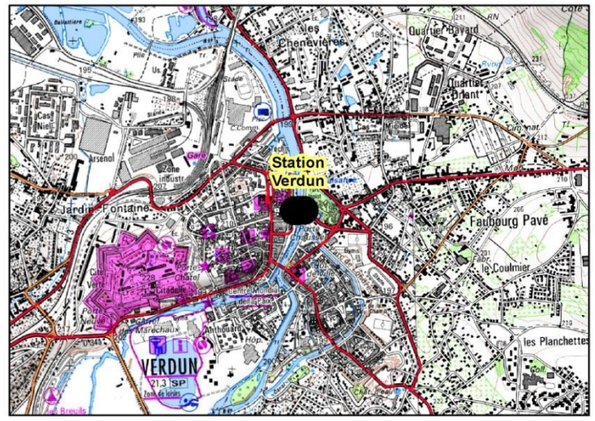
De la même manière, l'impact hydraulique du projet durant la période de travaux sur les courbes de tarages établies par les services gestionnaires au droit de chacune des stations hydrométrique est analysé en comparant les relations cotes altimétriques / débit pour chacune des situations.

La figure ci-après fournit un exemple d'un tel graphique au niveau de la station de Verdun. Les graphes des stations hydrométriques sont disponibles en annexe.

On s'aperçoit sur cet exemple :

- Que les courbes de tarage utilisées actuellement (au dela du débit d'effacement) resteront valables une fois les nouveaux barrages construits
- Que pendant les phase travaux, les courbes de tarage seront modifiées tant que le batardeau n'est pas démonté
- Que de nouvelles courbes de tarage « batardeau en place » peuvent être établies grace au modèle hydraulique et être utilisées en remplacement


Relation hauteur/débit barrages effacés. Station MS10
Q2C
Q5C
Q10C
Q2
Q5
Q10
Q20
Q50
Q100
Phase 9
EP
EA
RN Projet
Cote (mNGF)
Q (m³/s)
198.0
197.0
196.0
195.0
194.0
193.0
0
100
200
300
400
500
600
700


Station
Verdun
VERDUN
Faubourg Pavé
les Planchettes

3.9. PROPOSITIONS D'OPTIMISATION DU PROJET

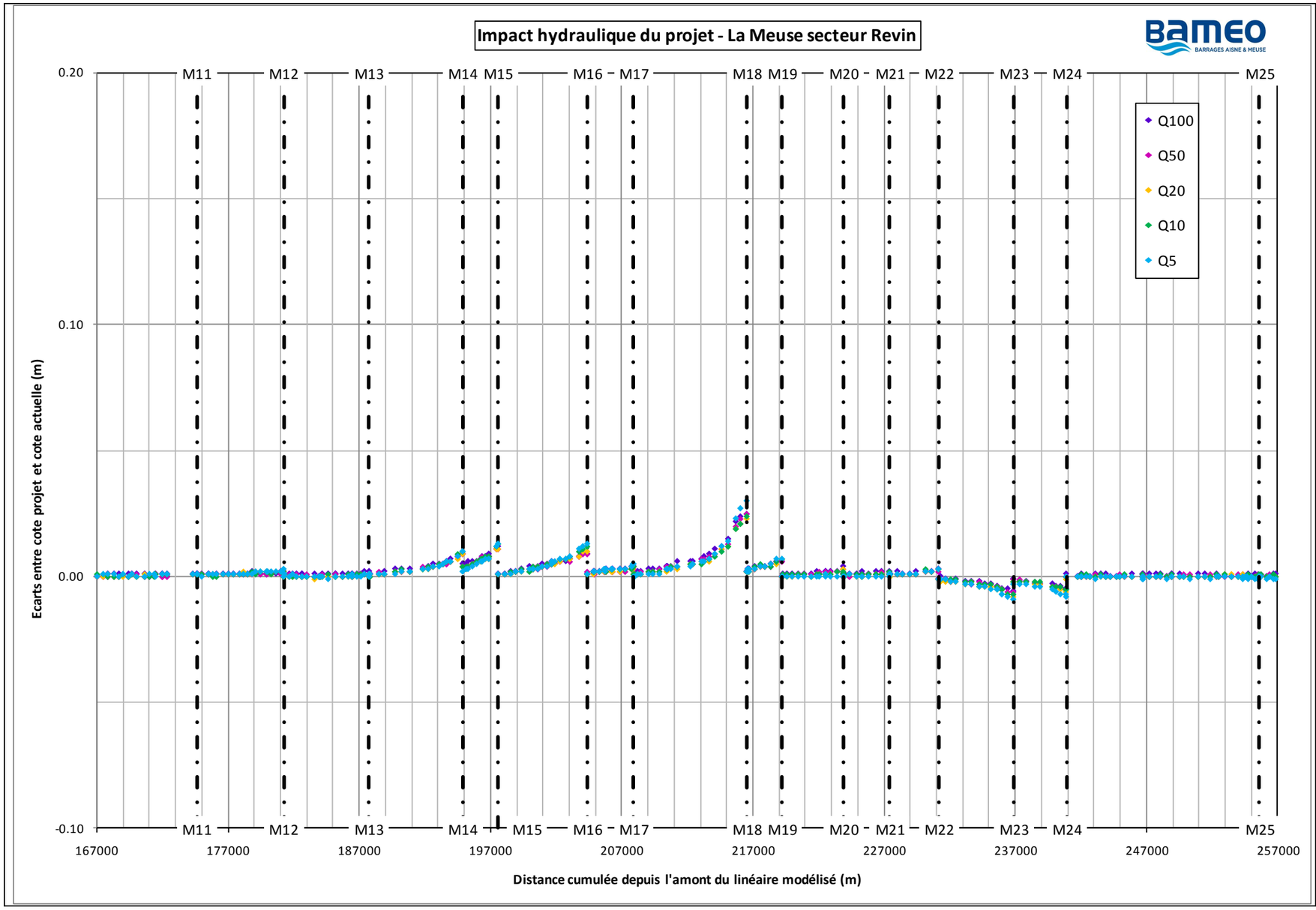
L'analyse des simulations hydrauliques réalisées en période de crue sur la base du dimensionnement produit au stade AVP a conduit à identifier plusieurs sites pour lesquels une optimisation de la cote du radier de l'ouvrage en état projet était souhaitable afin de rendre négligeable l'impact hydraulique du projet en période de crue.

Ainsi, il est proposé ci-dessous une situation projet « optimisée » qui se différencie de l'état projet AVP au niveau des barrages projet M20, M21 et M24.

Les cotes radiers optimisées de ces 3 barrages sont :

Site	Radier projet stade AVP	Radier projet optimisé stade PRO
M20	112.4 m NGF	112.3 m NGF
M21	110.2 m NGF	110.1 m NGF
M24 (passe RG)	104.71 m NGF	104.51 m NGF

L'incidence hydraulique du projet ainsi optimisé est exposée sur le graphique ci-après selon la même présentation qu'au chapitre 3.6.3.
Seul le secteur aval (secteur REVIN) étant concerné par cette optimisation du projet, le graphique ci-dessous concerne uniquement ce dernier tronçon.



L'incidence hydraulique du projet pour les crues quinquennale à centennale est très faible : inférieure à 5 cm en tout point et quel que soit le niveau de crue et inférieure à 1 cm au droit des enjeux (voir graphiques en annexe 9) .

oOo

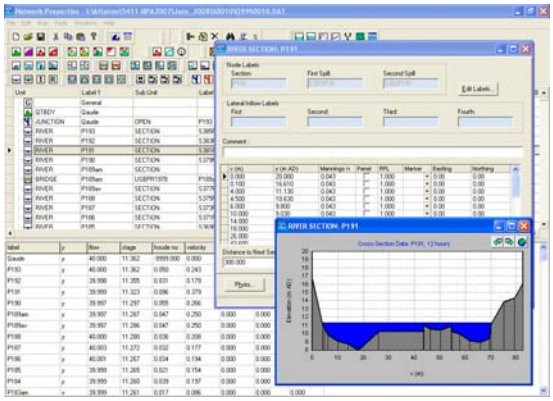
4. ANNEXES

4.1. ANNEXE 1 : PRESENTATION DES LOGICIELS DE MODELISATION : ISIS, TUFLOW, TELEMAC

ISIS

Modélisation des écoulements

ISIS est un logiciel de simulation hydraulique des écoulements filaires en rivières ou canaux développé par HALCROW et WALLINGFORD (Angleterre). Il est particulièrement bien adapté à l'étude des champs d'inondation et à l'analyse de réseaux complexes maillés ou ramifiés, en régime permanent ou transitoire. Par ailleurs, il intègre la possibilité d'introduire des casiers ce qui peut lui conférer un caractère pseudo bi- dimensionnel.



Fenêtre du logiciel ISIS

PRINCIPE DE BASE

ISIS permet de représenter les champs d'inondation de trois manières selon différentes configurations de vallées :

1. **Cas des écoulements unidimensionnels et filaires :** Le lit mineur et le lit majeur peuvent être représentés par une section de rivière unique car on suppose que le niveau d'eau est horizontal dans les lits. Ceci est bien adapté aux vallées bien marquées et non aménagées (pas de digue). Les différents lits (mineur, moyen, majeur) sont différenciés par leur coefficient de rugosité qui varie selon la nature et l'occupation des sols.

2. **Cas des écoulements multidirectionnels** : Quand les écoulements sont complexes et multidirectionnels, il est possible de représenter les vallées par des casiers. Les lits d'écoulement restent représentés par des sections et les équations de Barré St Venant. Le champ d'expansion des crues qui joue un rôle de stockage est représenté par des casiers. Les casiers peuvent être implantés en série et reliés par des liaisons hydrauliques (du type seuil, vanne, chenal, etc). Le casier est représenté par une loi de remplissage (hauteur- surface- volume). Cette représentation suppose donc des écoulements en lit mineur et du stockage en lit majeur (V=0 et niveau horizontal sur le casier). Ceci est adapté aux plaines cloisonnées et cours d'eau aménagés (endigués), plaines avec peu de pente.

3. Cas des écoulements unidimensionnels et parallèles avec des échanges latéraux : Les lits d'écoulement (par exemple le lit mineur, le lit majeur droit et le lit majeur gauche) sont indépendants (vitesse et niveau d'eau différents) mais des échanges se produisent de manière latérales sur des digues ou les berges (répartition de débits). Les sections sont reliées entre elles par des déversements latéraux qui répartissent les débits. Cette configuration est bien adaptée aux lits en toit ou aux lits endigués.

EQUATION DE BASE ET RÉSOLUTION

Le modèle utilisé repose sur les équations complètes de Barré de Saint-Venant :

- Equation de continuité : $\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q$

- Equation du mouvement : $\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\beta Q^2}{A}\right) + gA\frac{\partial H}{\partial x} + g\frac{AQ|Q|}{k^2} + q\frac{Q}{A}\cos\alpha = 0$

avec $k = A\frac{R^{2/3}}{n}$

Où : Q est le débit

A est la section mouillée

q est le débit latéral

H est la cote d'eau

g est l'accélération de la pesanteur

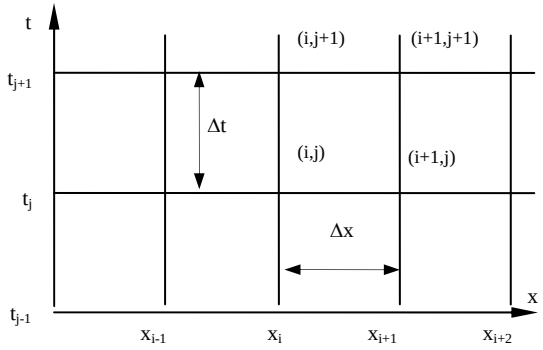
n est le coefficient de Manning

R est le rayon hydraulique

α est l'angle d écoulement

β est un coefficient

Le réseau est discrétisé à l'aide du schéma implicite de Preissmann :



$$f(x,t) = \frac{1}{2}\left[\theta\left(f_{i+1}^{j+1} + f_i^{j+1}\right) + (1-\theta)\left(f_{i+1}^{j} + f_i^{j}\right)\right]$$

Où f est le débit ou la cote d'eau

θ est un coefficient compris entre 0,5 et 1.

f_i^j est la valeur de f au point (xi,tj).

UNITÉS ET FONCTIONS HYDRAULIQUES D'ISIS

ISIS met à disposition plusieurs fonctions appelées « unités » pour représenter les divers composants hydrauliques d'un écoulement :

- section de rivière ou de canal avec différentes zones de rugosités (calculs des lignes d'eau par les équations de Barré St Venant),
- ponts (pertes de charge calculées par la méthode de l'USPBR),
- casiers- réservoir (zone de stockage),
- ouvrages de vannages (avec ou sans consignes de régulation),
- déversoir (lois de seuils minces, épais, rectangulaires, triangulaires…),
- perte de charge singulière,
- siphon,
- pompe,
- conduites (calcul des pertes de charge de rugosité par Colebrook- White).

DONNÉES D'ENTRÉE ET RÉSULTATS

Les données à l'entrée du modèle sont contenues dans un fichier unique au format ASCII. Chaque unité est décrite par sa géométrie (sections, profils en long, lois de remplissage,…) et/ ou ses paramètres hydrauliques de calcul (rugosité, coefficient de pertes de charge).

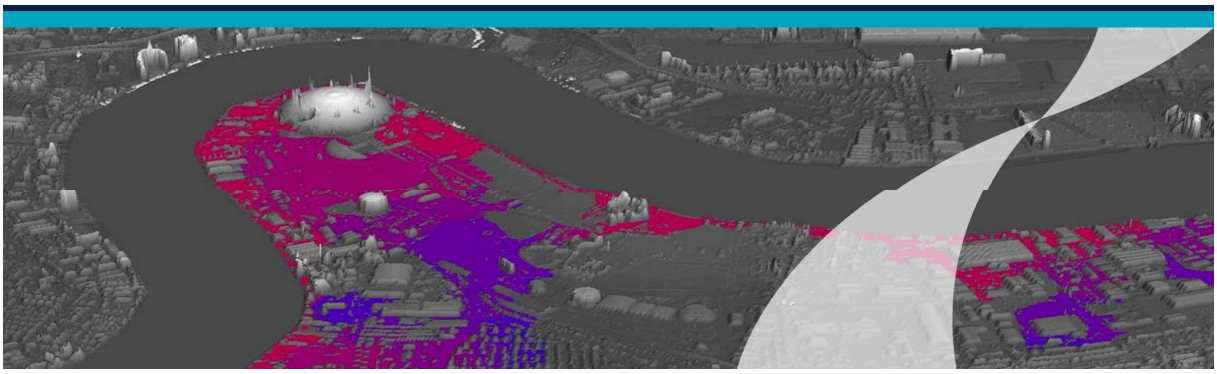
Les conditions aux limites peuvent être :

- hydrogrammes amont et latéraux
- limnigrammes
- lois hauteur- débit

Les résultats en sortie du modèle sont, pour chaque unité hydraulique, les débits, les vitesses et les cotes d'eau atteints et l'évolution de ces paramètres en fonction du temps dans le cas du régime transitoire. Ils sont fournis sous forme de fichiers texte.

TUFLOW

Modélisation des écoulements et des marées



Halcrow est le distributeur exclusif du logiciel TUFLOW développé par BMT WBM. En achetant TUFLOW, les utilisateurs bénéficient du soutien de l'équipe d'Halcrow ainsi que des services fournis par BMT WBM, tout cela sans frais supplémentaires.

Les inondations et les tempêtes maritimes engendrent d'importants dégâts, des déplacements de population et de nombreuses victimes. La compréhension et la gestion de tels événements nécessitent un logiciel, bien adapté à l'étude des plaines d'inondation.

TUFLOW modélise les ruissellements complexes en champ majeur ainsi que les écoulements urbains en conduite, les marées, les estuaires et enfin la submersion marine.

TUFLOW est à la fois un logiciel uni et bidimensionnel prenant en compte les écoulements et les marées. Il simule des écoulements complexes par la résolution des équations (unidimensionnelles) complètes de Barré Saint Venant et des équations (bidimensionnelles) des écoulements à surface libre peu profonds.

Schémas de résolution

La solution bidimensionnelle de TUFLOW est basée sur le modèle aux différences finies de Stelling, schéma ADI résolvant les équations des écoulements à surface libre peu profonds. Le schéma unidimensionnel utilise la méthode de Runge Kutta d'ordre 2.

Ces schémas de résolution ont été optimisés pour rendre compte des écoulements contrôlés par l'amont, des déversements au dessus des ponts, des écoulements à travers des orifices et bien d'autres particularités.

Capacités du logiciel

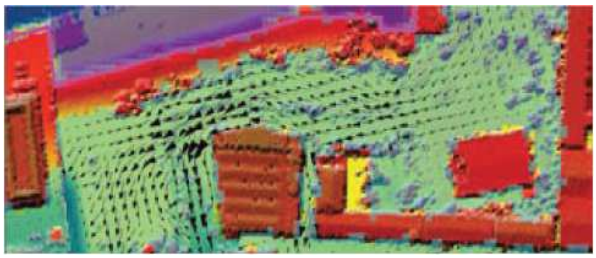
- Options complexes pour le lien entre les modèles uni et bidimensionnel
- Représentation 2D
- Options multiples pour le modèle bidimensionnel (orientations et taille des mailles)
- Prise en compte des changements de régime au passage des remblais ;
- Construction du modèle à l'aide de couches SIG
- Gestion flexible et robuste des paramètres

Une solution fiable pour la modélisation

- des écoulements en champs majeurs ;
- des écoulements urbains et en conduite complexes ;
- de la submersion marine ;
- des estuaires et des marées.

Liens avec les autres logiciels

- Optimisation du lien ISIS-TUFLOW afin de rendre possible l'incorporation d'un modèle unidimensionnel créé sur ISIS Professional dans TUFLOW, offrant ainsi un couplage hydraulique 1D-2D
- Production de carte de débits par utilisation de ISIS Mapper
- Liens dynamiques entre les schémas unidimensionnelles XP-SWMM et TUFLOW
- Constructions de modèles à l'aide des interfaces graphiques de SMS ou de XP-SWMM, ou en utilisant un logiciel SIG



Modélisation TUFLOW de la submersion marine par rupture hypothétique d'une brèche le long de la Tamise, à Londres

Liens dynamiques

Les liens dynamiques entre les différents domaines du modèle sont l'atout principal de TUFLOW. En incorporant les plaines d'inondation, un lien à la fois plus complexe et flexible a été développé. Les fonctions avancées de ce lien s'appliquent à différents modèles allant des champs majeurs aux modèles urbains denses en passant par la submersion marine.

Liens entre 1D et 2D

Les secteurs unidimensionnels peuvent être joints n'importe où dans le périmètre des mailles actives du modèle bidimensionnel. Ces liens s'adaptent à toutes les situations, qu'il s'agissent d'une grille 2D totalement sèche ou alternant périodes sèches et mouillées durant la simulation.

Eléments 1D dans le modèle 2D

Des liens internes sont utilisés pour modéliser les écoulements à l'intérieur ou sous le modèle 2D, mieux décrits par une solution 1D. Cela peut être décrit par un orifice dans un remblais ou par un système de canalisations.

Domaines 2D multiples

L'aire d'étude peut être divisée en autant de domaines 2D que nécessaire, chaque domaine ayant un maillage et une densité de maillage propre. Tous ces domaines se regroupent pour former un modèle général.

Outils de production MapInfo et TUFLOW (miTools)

miTools a été développé pour améliorer l'efficacité de la conception et de la vision des modèles TUFLOW, ainsi que pour permettre une utilisation quotidienne aisée grâce à MapInfo. Cela permet « l'automatisation » de tâches répétitives et ainsi un gain de temps et d'argent.

TUFLOW

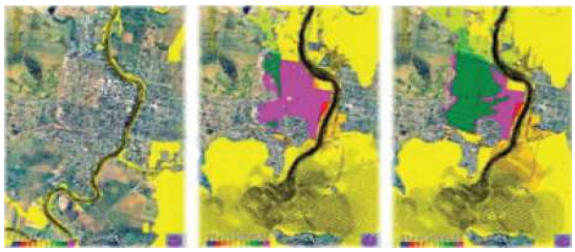
Ecoulements 1D dans les plaines d'inondation 2D

Des liens complexes permettent la modélisation d'un écoulement 1D et des plaines d'inondation 2D. Cela est utile lorsque la canalisation ou la rivière est représentée trop grossièrement pour la résolution 2D ou qu'une structure unidimensionnelle est mieux adaptée.

Présentation des résultats

Les fichiers de sortie de TUFLOW sont au format SMS ou SIG et contiennent une grande variété de données, comme les niveaux d'eau, les vecteurs vitesse et débit unitaire, la profondeur, le nombre de Froude, des classes de débits… L'utilisateur peut facilement :

- ajouter des photos aériennes ou d'autres données SIG en fond de plan ;
- créer des animations montrant l'augmentation ou la baisse des débits en utilisant ISIS mapper, SMS, WateRIDE ou XP-SWMM ;
- sélectionner interactivement les résultats 1D ou 2D et les présenter graphiquement ;
- produire des cartes de grande qualité qui pourront être incorporées dans un rapport ou une présentation au public.



Captures d'écran d'une animation présentant l'impact d'une inondation à Casino en Australie. Les trois captures présentent le début de la simulation, l'instant précédant le pic et le pic.

La couleur jaune présente les niveaux d'eau inférieurs à 5cm, les couleurs orange et rouges montrent une augmentation du niveau d'eau et le vert présente une baisse de ce niveau

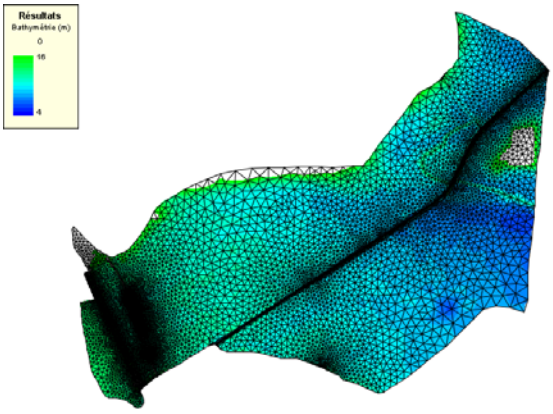
Support technique

Les entreprises qui font l'acquisition de TUFLOW bénéficient du support technique d'une équipe dédiée basée au Royaume Uni ainsi que des services fournis par BMT WBM sans frais supplémentaires.

EXPÉRIENCE DE MODÉLISATION BIDIMENSIONNELLE

De nombreux systèmes mettant en jeu des phénomènes hydrauliques complexes ne peuvent pas être modélisés de manière simple par un modèle filaire ou même à casiers. Un modèle bi-dimensionnel est alors nécessaire.

Parmi tous les logiciels du marché, BRL*ingénierie* a décidé d'utiliser principalement le logiciel **TELEMAC 2D** développé par le Laboratoire National d'hydraulique d'EDF, pour sa fiabilité, sa puissance de calcul et sa large utilisation de par le monde.



Ci-dessus: maillage d'un modèle 2D sur les Basses Plaines de l'Aude

LE LOGICIEL

TELEMAC 2D permet de simuler les écoulements à surface libre a deux dimensions d'espace horizontales. Le logiciel calcule, en chaque point du maillage, la hauteur d'eau ainsi que les deux composantes de la vitesse.

UN LOGICIEL COMPLET ET PERFORMANT

TELEMAC 2D résout les équations de Saint-Venant à l'aide de la méthode des éléments finis ou des volumes finis sur une grille de calcul à éléments triangulaires. Il permet d'effectuer des simulations aussi bien en régime transitoire qu'en régime permanent.

Les algorithmes utilisés par TELEMAC 2D sont particulièrement performants et sont en constante évolution afin de pouvoir toujours bénéficier des développements réalisés dans le domaine du calcul numérique.

UNE UTILISATION DANS DES DOMAINES VARIÉS

TELEMAC 2D est aujourd'hui utilisé dans des domaines aussi variés que les études des champs d'inondation, les études maritimes ou encore des études de diffusion et de propagation de polluants.

Maillage du modèle TELEMAC-2D sur un modèle en mer (Roquebrune-Argens)

EXPÉRIENCE DE MODÉLISATION BIDIMENSIONNELLE

ETUDE HYDRAULIQUE RELATIVE À LA RENOVATION OU LA RECONSTRUCTION DU BARRAGE DU LIEGEOT SUR LA MOSELLE

Maitre d'Ouvrage :
VNF

Lieu :

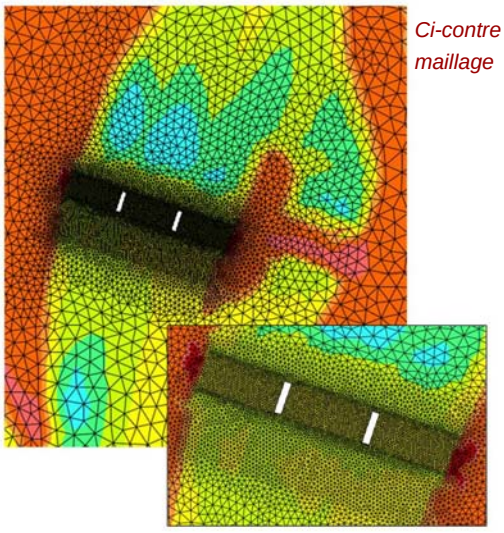
Dieulouard (54)

Année d'exécution de l'étude :
2009

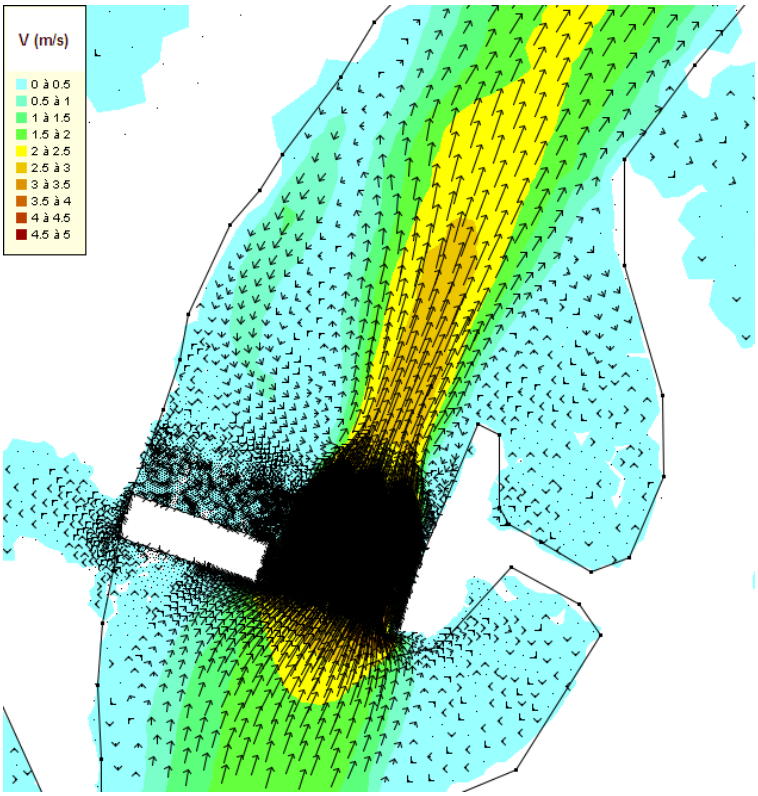
Le barrage de Liégeot, situé sur la Moselle, sur la commune de Dieulouard permet de réguler la cote de la rivière à un niveau qui permette la navigabilité.

Toutefois, construit à la fin des années 50, le barrage est aujourd'hui en mauvais état et il est indispensable de le rénover ou de le reconstruire.

Une étude hydraulique a alors été menée afin de déterminer les impacts hydrauliques qu'entraineraient la reconstruction du barrage ou sa rénovation en phase d'exploitation et en phase travaux. Pour cela il a été mis en œuvre un modèle hydraulique local bidimensionnel à l'aide du logiciel TELEMAC 2D.



Ci-contre : Extraits du maillage



Ci-contre : Représentation des vitesses d'écoulement en phase travaux (la moitié du cours d'eau est batardée)

Caractéristiques du modèle :

Superficie : 0,4 km²

Nombre de mailles : 19 000

Tailles des mailles : de 0,8 m à 50 m

EXPÉRIENCE DE MODÉLISATION BIDIMENSIONNELLE

MODÉLISATION BIDIMENSIONNELLE DU VAL D'ORLÉANS DANS LE CADRE DE LA RÉALISATION DES ETUDES DE DANGERS DES DIGUES DE CLASSE A DE LA LOIRE

Maitre d'Ouvrage :
DREAL Centre

Lieu :

Orléans (45)

Année d'exécution de l'étude :
2011—2012

Dans le cadre de la réalisation des Etudes de Dangers des digues de classe A de la Loire, la DREAL Centre a confié à BRL*ingénierie* la modélisation de la propagation des hydrogrammes de rupture dans le Vals d'Orléans.

Compte-tenu des enjeux très importants présents sur le val (plus de 65 000 résidents et 15 000 salariés), une modélisation fine était attendue, en particulier dans le centre urbain de l'agglomération orléanaise.

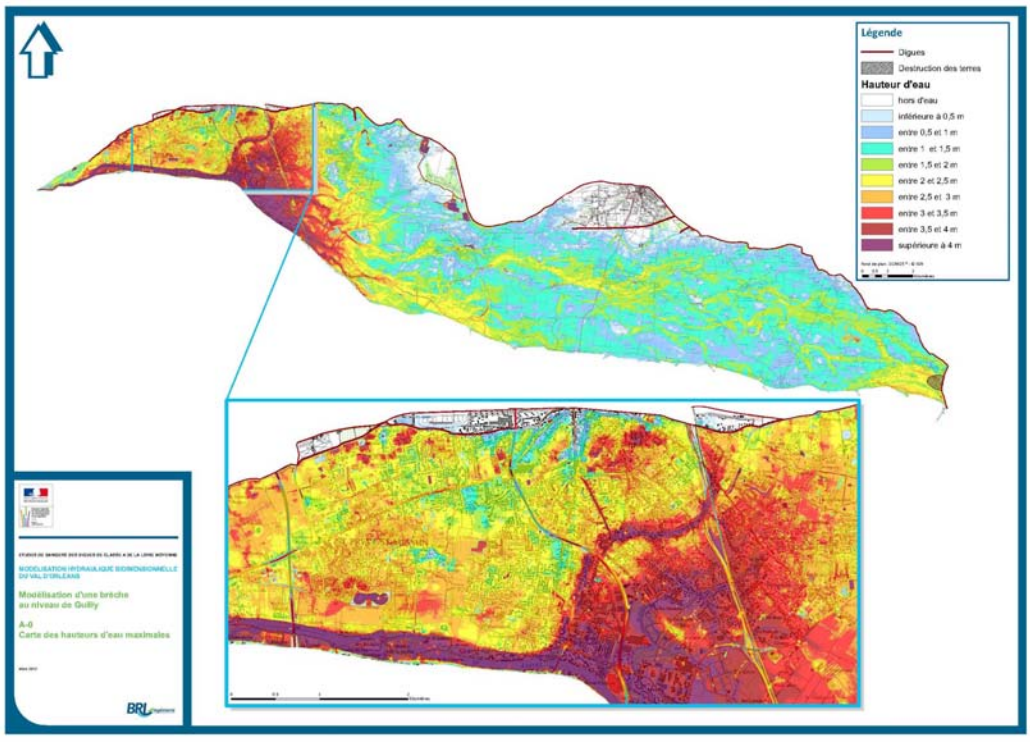
Au final, il a été mis en place un modèle de plus de 365 000 nœuds de calcul, permettant d'accéder à des résultats à l'échelle de la rue dans la zone urbaine. Les résultats fournis ont été, entre autres, des cartes de zones inondées, de vitesses maximales et de temps d'arrivé de l'onde de submersion, ainsi que des films présentant d'évolution de la crue dans le temps.

Caractéristiques du modèle :

Superficie : 165 km²

Nombre de mailles : 727 000

Tailles des mailles : de 1 à 50 m



Ci-contre : Exemple de cartographie de zone inondable produite

EXPÉRIENCE DE MODÉLISATION BIDIMENSIONNELLE

MODÉLISATION BIDIMENSIONNELLE DU VAL DE TOURS DANS LE CADRE DE LA RÉALISATION DES ETUDES DE DANGERS DES DIGUES DE CLASSE A DE LA LOIRE

Maitre d'Ouvrage :
DREAL Centre

Lieu :

Tours (37)

Année d'exécution de l'étude :
2011—2012

Dans le cadre de la réalisation des Etudes de Dangers des digues de classe A de la Loire, la DREAL Centre a confié à BRL*ingénierie* la modélisation de la propagation des hydrogrammes de rupture dans le Vals de Tours.

Compte-tenu des enjeux très importants présents sur le val (plus de 115 000 résidents et 65 000 salariés), une modélisation fine était attendue, en particulier dans le centre urbain dense de Tours.

Au final, il a été mis en place un modèle de plus de 980 000 nœuds de calcul, permettant d'accéder à des résultats à l'échelle de la rue dans la zone urbaine. Les résultats fournis ont été, entre autres, des cartes de zones inondées, de vitesses maximales et de temps d'arrivé de l'onde de submersion, ainsi que des films présentant d'évolution de la crue dans le temps.

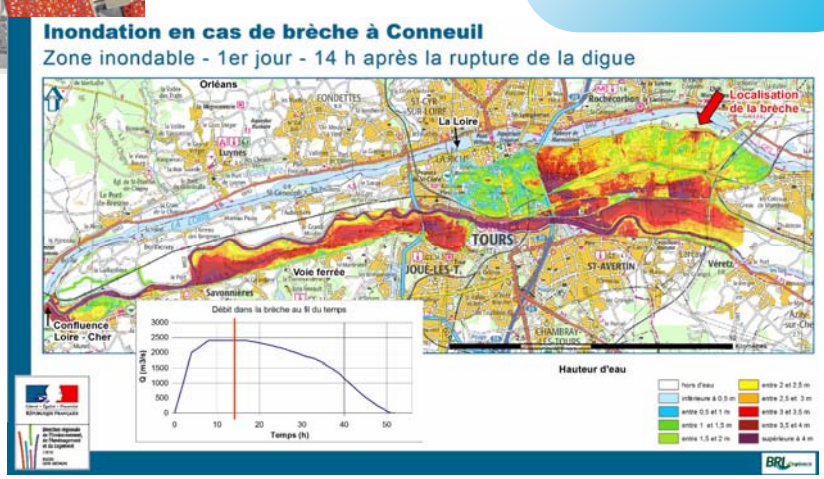
Exemple de maillage mis en place dans la zone urbaine dense de Tours

Caractéristiques du modèle :

Superficie : 72 km²

Nombre de mailles : 1 900 000

Tailles des mailles : de 1 à 50 m



Capture d'écran d'un film présentant l'évolution de la propagation de l'onde de rupture de la digue

4.2. ANNEXE 2 : MODELISATIONS 2D LOCALES : CARTES DE MAILLAGE

Barrage M1 : Maillage

N

sens d'écoulement

Carto_Maillage.mxd

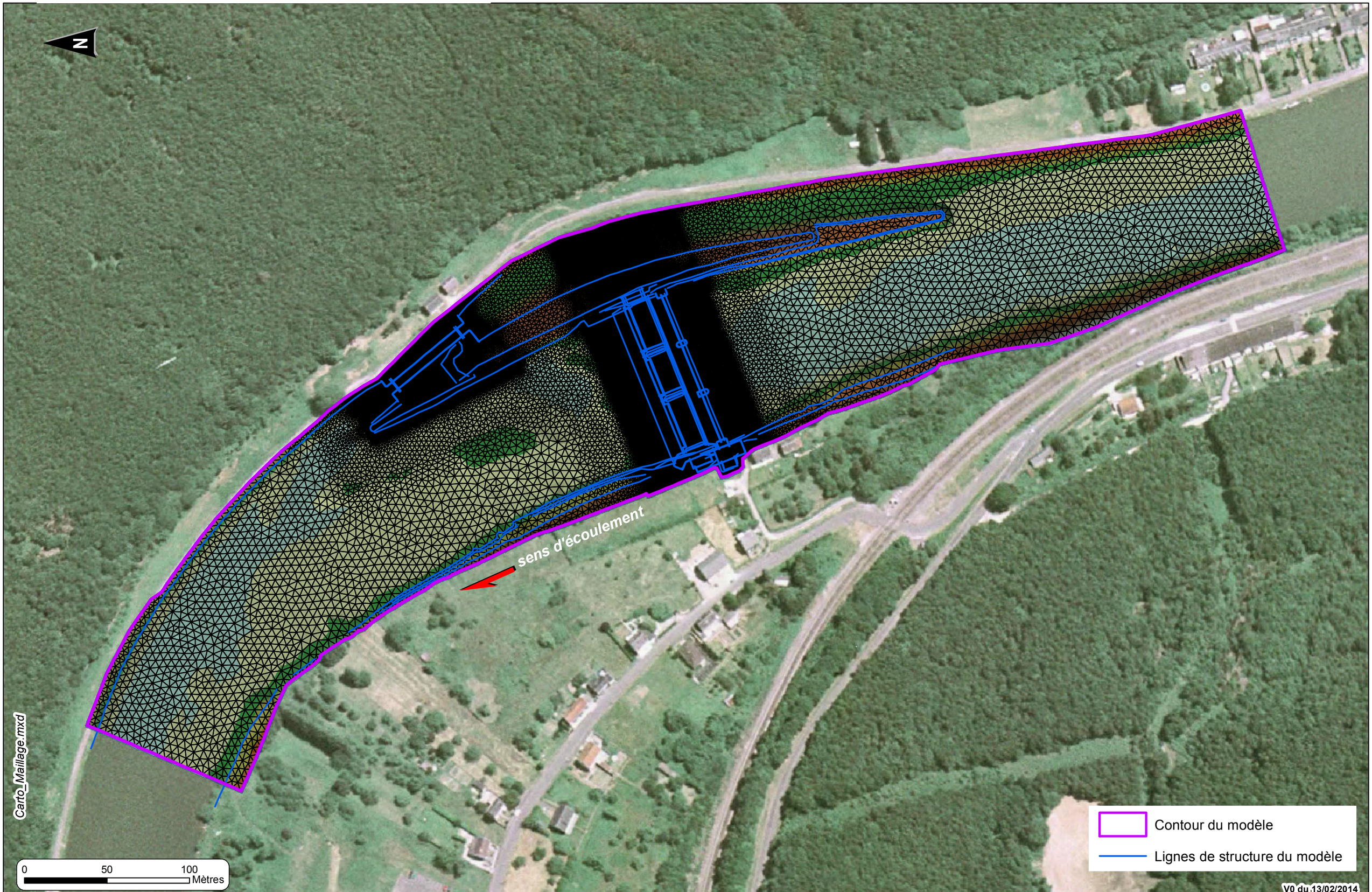
0 50 100 Mètres

Contour du modèle

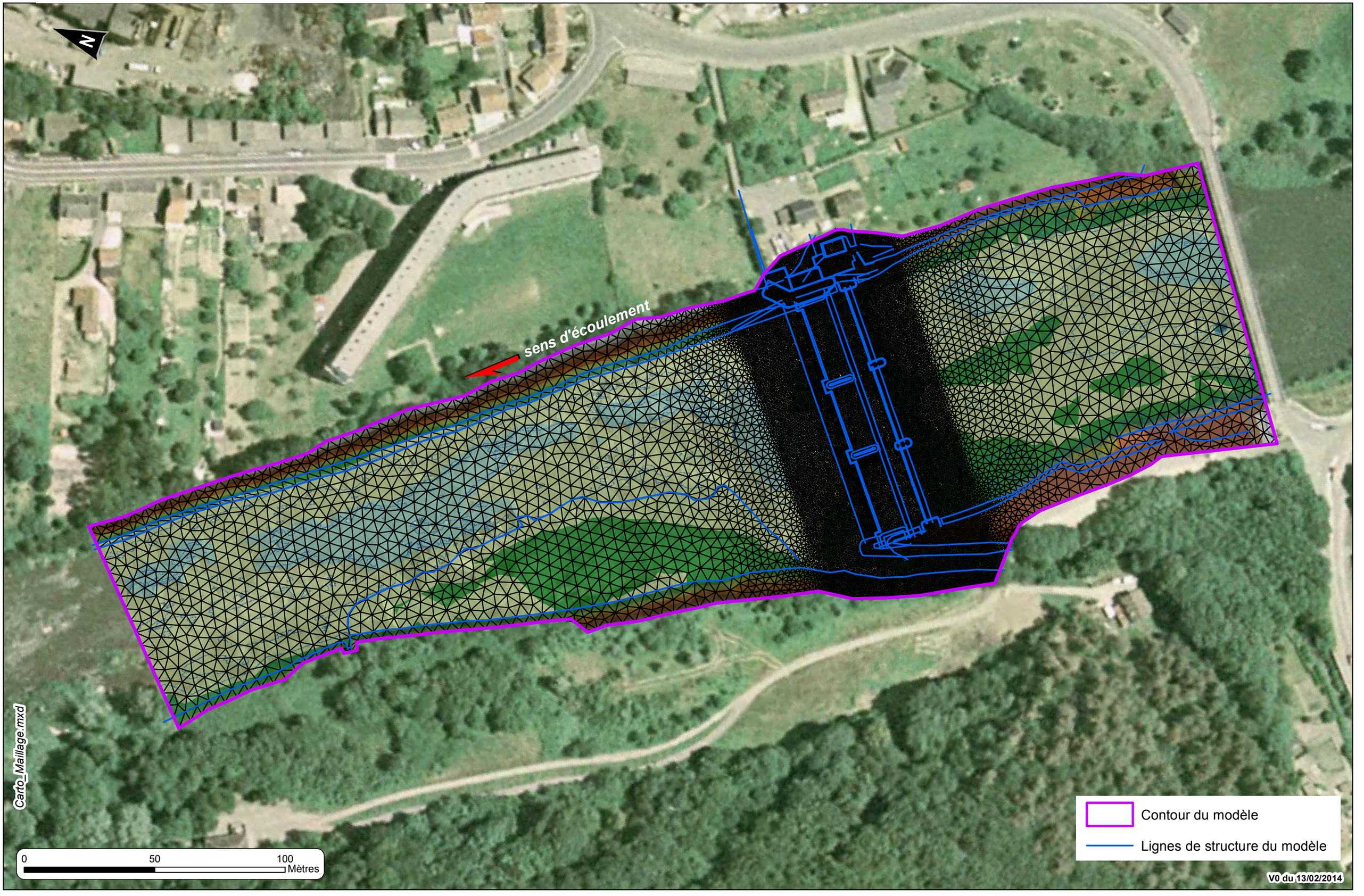
Lignes de structure du modèle

V0 du 13/02/2014

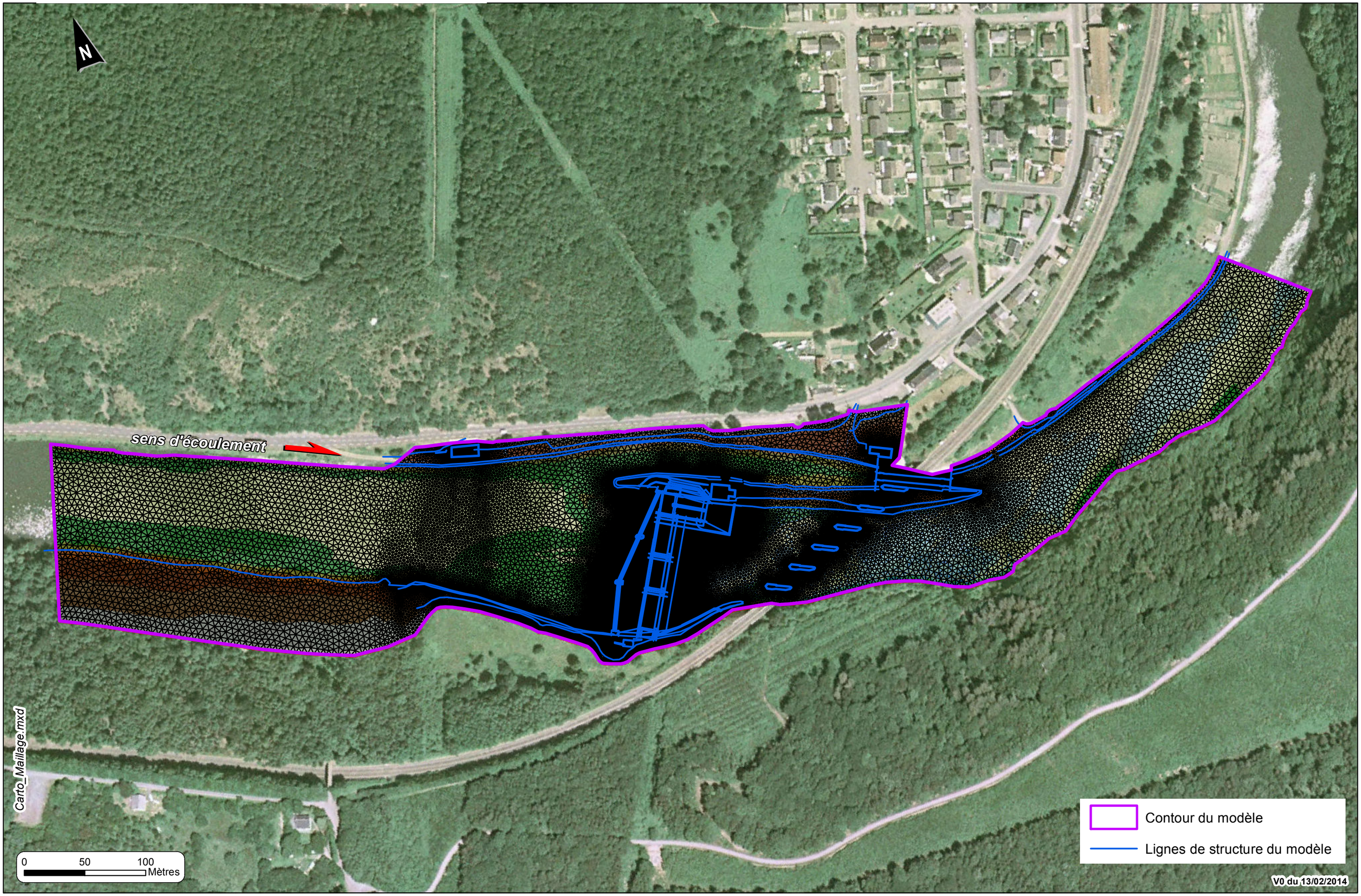
Barrage M14 : Maillage



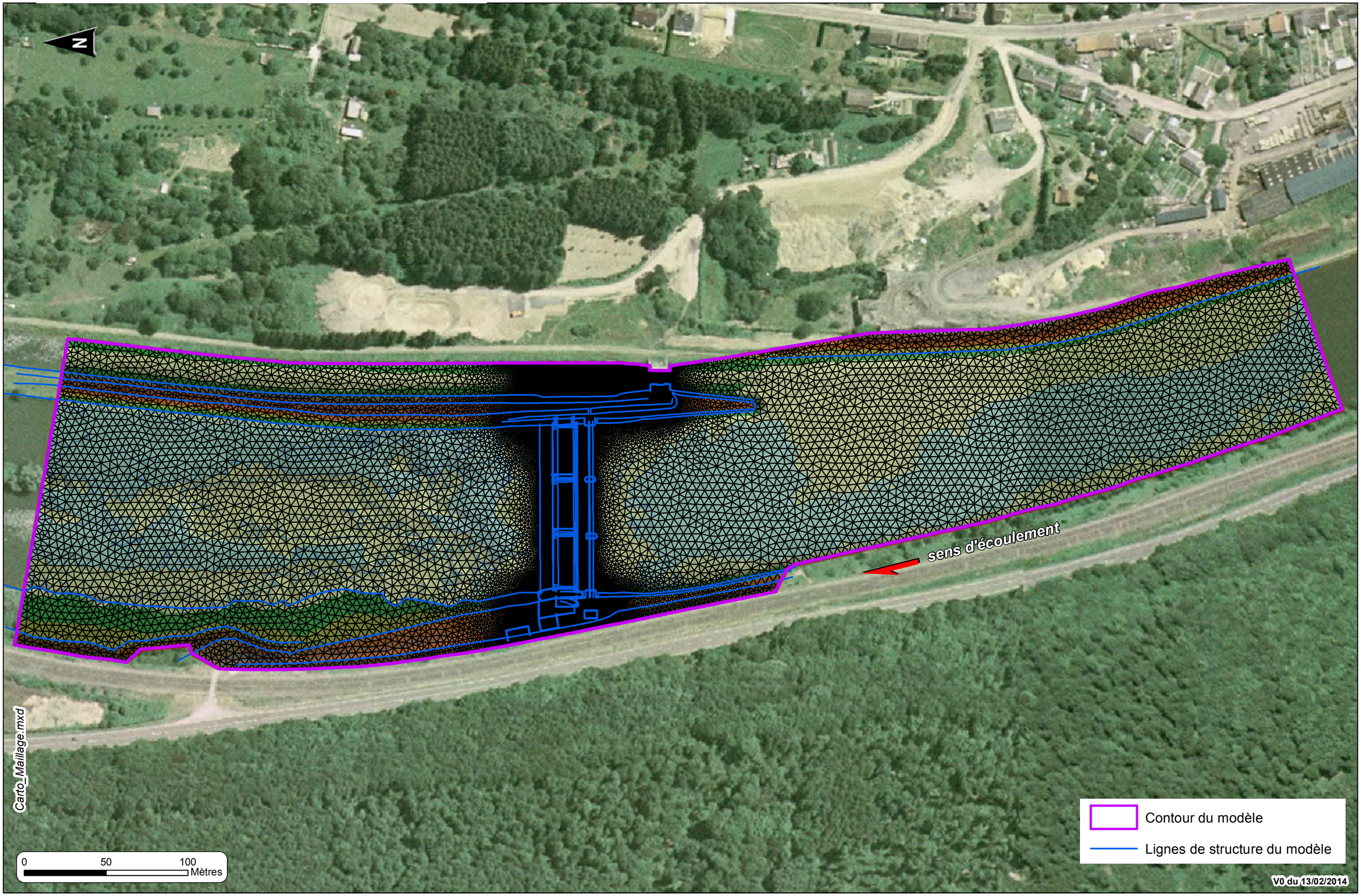
Barrage M17 : Maillage



Barrage M18 : Maillage



Barrage M20 : Maillage



Barrage M24 : Maillage

N

sens d'écoulement

Carto_Maillage.mxd

0 50 100 Mètres

Contour du modèle

Lignes de structure du modèle

V0 du 13/02/2014

Barrage M6 : Maillage

N

sens d'écoulement

Carto_Maillage.mxd

0 50 100 Mètres

Contour du modèle

Lignes de structure du modèle

V0 du 13/02/2014

BAMEO
BARRAGES AISNE & MEUSE

Barrage M9 : Maillage

N

Carto_Maillage.mxd

0 50 100
Mètres

Contour du modèle

Lignes de structure du modèle

V0 du 13/02/2014

4.3. ANNEXE 3 : MODELISATIONS 2D LOCALES : CARTES DE COTE EN SITUATION ACTUELLE

Barrage M1 : Etat Initial - Cotes d'eau - Q2

N

sens d'écoulement

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

193.60 - 193.70
193.70 - 193.80
193.80 - 193.90
193.90 - 194.00
194.00 - 194.10
194.10 - 194.20
194.20 - 194.30

0 50 100 Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

Barrage M6 : Etat Initial - Cotes d'eau - Q2

N

sens d'écoulement

Carto_Cotes3.mxd

0 50 100 Mètres

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

154.80 - 154.90
154.90 - 155.00
155.00 - 155.10
155.10 - 155.20
155.20 - 155.30
155.30 - 155.40
155.40 - 155.50

V0 du 12/02/2014

Barrage M9 : Etat Initial - Cotes d'eau - Q5

N

sens d'écoulement

Carto_Cotes3.mxd

0 50 100 Mètres

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

144.50 - 144.60
144.60 - 144.70
144.70 - 144.80

V0 du 12/02/2014

Barrage M14 : Etat Initial - Cotes d'eau - Q2

N

sens d'écoulement

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

130.70 - 130.80
130.80 - 130.90
130.90 - 131.00
131.00 - 131.10
131.10 - 131.20
131.20 - 131.30
131.30 - 131.40
131.40 - 131.50

0 50 100 Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

Barrage M17 : Etat Initial - Cotes d'eau - Q2

N

sens d'écoulement

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

123.80 - 123.90
123.90 - 124.00
124.00 - 124.10
124.10 - 124.20
124.20 - 124.30
124.30 - 124.40
124.40 - 124.50
124.50 - 124.60
124.60 - 124.70
124.70 - 124.80

0 50 100 Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

Barrage M18 : Etat Initial - Cotes d'eau - Q2

BAMEO
BARRAGES AISNE & MEUSE

N

sens d'écoulement

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

118.40 - 118.50
118.50 - 118.60
118.60 - 118.70
118.70 - 118.80
118.80 - 118.90
118.90 - 119.00
119.00 - 119.10
119.10 - 119.20
119.20 - 119.30
119.30 - 119.40
119.40 - 119.50
119.50 - 119.60
119.60 - 119.70
119.70 - 119.80

0 50 100
Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

Barrage M20 : Etat Initial - Cotes d'eau - Q2

N

sens d'écoulement

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

114.10 - 114.20
114.20 - 114.30
114.30 - 114.40
114.40 - 114.50
114.50 - 114.60
114.60 - 114.70
114.70 - 114.80
114.80 - 114.90
114.90 - 115.00
115.00 - 115.10
115.10 - 115.20
115.20 - 115.30
115.30 - 115.40

0 50 100 Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

Barrage M24 : Etat Initial - Cotes d'eau - Q2

N

sens d'écoulement

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

106.10 - 106.20
106.20 - 106.30
106.30 - 106.40
106.40 - 106.50
106.50 - 106.60
106.60 - 106.70
106.70 - 106.80
106.80 - 106.90
106.90 - 107.00
107.00 - 107.10
107.10 - 107.20
107.20 - 107.30
107.30 - 107.40
107.40 - 107.50
107.50 - 107.60
107.60 - 107.70

0 50 100 Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

4.4. ANNEXE 4 : MODELISATIONS 2D LOCALES : CARTES DE COTE EN SITUATION PROJET

Barrage M1 : Etat Projet - Cotes d'eau - Q2

N

sens d'écoulement

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

193.60 - 193.70
193.70 - 193.80
193.80 - 193.90
193.90 - 194.00
194.00 - 194.10
194.10 - 194.20
194.20 - 194.30

0 50 100 Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

Barrage M6 : Etat Projet - Cotes d'eau - Q2

N

sens d'écoulement

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

154.80 - 154.90
154.90 - 155.00
155.00 - 155.10
155.10 - 155.20
155.20 - 155.30
155.30 - 155.40
155.40 - 155.50

0 50 100 Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

Barrage M9 : Etat Projet - Cotes d'eau - Q5

N

sens d'écoulement

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

144.30 - 144.40
144.40 - 144.50
144.50 - 144.60
144.60 - 144.70
144.70 - 144.80

0 50 100 Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

Barrage M14 : Etat Projet - Cotes d'eau - Q2

N

sens d'écoulement

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

130.70 - 130.80
130.80 - 130.90
130.90 - 131.00
131.00 - 131.10
131.10 - 131.20
131.20 - 131.30
131.30 - 131.40
131.40 - 131.50

0 50 100 Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

Barrage M17 : Etat Projet - Cotes d'eau - Q2

N

sens d'écoulement

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

123.80 - 123.90
123.90 - 124.00
124.00 - 124.10
124.10 - 124.20
124.20 - 124.30
124.30 - 124.40
124.40 - 124.50
124.50 - 124.60
124.60 - 124.70
124.70 - 124.80

0 50 100 Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

Barrage M18 : Etat Projet - Cotes d'eau - Q2

BAMEO
BARRAGES AISNE & MEUSE

N

sens d'écoulement

Carto_Cotes3.mxd

0 50 100 Mètres

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

118.40 - 118.50
118.50 - 118.60
118.60 - 118.70
118.70 - 118.80
118.80 - 118.90
118.90 - 119.00
119.00 - 119.10
119.10 - 119.20
119.20 - 119.30
119.30 - 119.40
119.40 - 119.50
119.50 - 119.60
119.60 - 119.70
119.70 - 119.80

V0 du 12/02/2014

Barrage M20 : Etat Projet - Cotes d'eau - Q2

N

sens d'écoulement

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

114.10 - 114.20
114.20 - 114.30
114.30 - 114.40
114.40 - 114.50
114.50 - 114.60
114.60 - 114.70
114.70 - 114.80
114.80 - 114.90
114.90 - 115.00
115.00 - 115.10
115.10 - 115.20
115.20 - 115.30
115.30 - 115.40

0 50 100 Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

Barrage M24 : Etat Projet - Cotes d'eau - Q2

N

sens d'écoulement

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

106.10 - 106.20
106.20 - 106.30
106.30 - 106.40
106.40 - 106.50
106.50 - 106.60
106.60 - 106.70
106.70 - 106.80
106.80 - 106.90
106.90 - 107.00
107.00 - 107.10
107.10 - 107.20
107.20 - 107.30
107.30 - 107.40
107.40 - 107.50
107.50 - 107.60
107.60 - 107.70

0 50 100 Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

4.5. ANNEXE 5 : MODELISATIONS 2D LOCALES : CARTES DE COTE EN CONFIGURATION CHANTIER

Barrage M18 : Phase chantier 0 - Cotes d'eau - Q10c

N

sens d'écoulement

Zone batardée

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

117.40 - 117.50
117.50 - 117.60
117.60 - 117.70
117.70 - 117.80
117.80 - 117.90
117.90 - 118.00
118.00 - 118.10
118.10 - 118.20
118.20 - 118.30
118.30 - 118.40
118.40 - 118.50
118.50 - 118.60
118.60 - 118.70
118.70 - 118.80
118.80 - 118.90
118.90 - 119.00
119.00 - 119.10
119.10 - 119.20
119.20 - 119.30
119.30 - 119.40
119.40 - 119.50

0 50 100 Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

Barrage M24 : Phase chantier 0 - Cotes d'eau - Q10c

N

sens d'écoulement

Zone batardée

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

105.50 - 105.60
105.60 - 105.70
105.70 - 105.80
105.80 - 105.90
105.90 - 106.00
106.00 - 106.10
106.10 - 106.20
106.20 - 106.30
106.30 - 106.40
106.40 - 106.50
106.50 - 106.60
106.60 - 106.70
106.70 - 106.80
106.80 - 106.90
106.90 - 107.00
107.00 - 107.10
107.10 - 107.20
107.20 - 107.30

0 50 100 Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

Barrage M1 : Phase chantier 1 - Cotes d'eau - Q10c

BAMEO
BARRAGES AISNE & MEUSE

N

sens d'écoulement

Zone batardée

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

192.70 - 192.80
192.80 - 192.90
192.90 - 193.00
193.00 - 193.10
193.10 - 193.20
193.20 - 193.30
193.30 - 193.40
193.40 - 193.50

0 50 100 Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

Barrage M6 : Phase chantier 1 - Cotes d'eau - Q10c

N

sens d'écoulement

Zone batardée

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

154.70 - 154.80
154.80 - 154.90
154.90 - 155.00
155.00 - 155.10
155.10 - 155.20
155.20 - 155.30
155.30 - 155.40
155.40 - 155.50
155.50 - 155.60
155.60 - 155.70
155.70 - 155.80
155.80 - 155.90
155.90 - 156.00

0 50 100 Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

Barrage M9 : Phase chantier 1 - Cotes d'eau - Q10c

N

sens d'écoulement

Zone batardée

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

143.50 - 143.60
143.60 - 143.70
143.70 - 143.80
143.80 - 143.90
143.90 - 144.00
144.00 - 144.10
144.10 - 144.20

0 50 100 Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

Barrage M14 : Phase chantier 1 - Cotes d'eau - Q10c

BAMEO
BARRAGES AISNE & MEUSE

N

sens d'écoulement

Zone batardée
Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

129.70 - 129.80
129.80 - 129.90
129.90 - 130.00
130.00 - 130.10
130.10 - 130.20
130.20 - 130.30
130.30 - 130.40
130.40 - 130.50
130.50 - 130.60
130.60 - 130.70
130.70 - 130.80
130.80 - 130.90

0 50 100 Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

Barrage M17 : Phase chantier 1 - Cotes d'eau - Q10c

BAMEO
BARRAGES AISNE & MEUSE

N

sens d'écoulement

Zone batardée

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

122.90 - 123.00
123.00 - 123.10
123.10 - 123.20
123.20 - 123.30
123.30 - 123.40
123.40 - 123.50
123.50 - 123.60
123.60 - 123.70
123.70 - 123.80
123.80 - 123.90
123.90 - 124.00
124.00 - 124.10
124.10 - 124.20
124.20 - 124.30

0 50 100 Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

Barrage M18 : Phase chantier 1 - Cotes d'eau - Q10c

N

sens d'écoulement

Zone batardée

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

117.40 - 117.50
117.50 - 117.60
117.60 - 117.70
117.70 - 117.80
117.80 - 117.90
117.90 - 118.00
118.00 - 118.10
118.10 - 118.20
118.20 - 118.30
118.30 - 118.40
118.40 - 118.50
118.50 - 118.60
118.60 - 118.70
118.70 - 118.80
118.80 - 118.90
118.90 - 119.00
119.00 - 119.10
119.10 - 119.20
119.20 - 119.30
119.30 - 119.40
119.40 - 119.50

0 50 100 Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

Barrage M20 : Phase chantier 1 - Cotes d'eau - Q10c

N

sens d'écoulement

Zone batardée

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

113.10 - 113.20
113.20 - 113.30
113.30 - 113.40
113.40 - 113.50
113.50 - 113.60
113.60 - 113.70
113.70 - 113.80
113.80 - 113.90
113.90 - 114.00
114.00 - 114.10
114.10 - 114.20
114.20 - 114.30
114.30 - 114.40
114.40 - 114.50
114.50 - 114.60
114.60 - 114.70
114.70 - 114.80
114.80 - 114.90
114.90 - 115.00
115.00 - 115.10
115.10 - 115.20

0 50 100 Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

Barrage M24 : Phase chantier 1 - Cotes d'eau - Q10c

N

sens d'écoulement

Zone batardée

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

105.00 - 105.10
105.10 - 105.20
105.20 - 105.30
105.30 - 105.40
105.40 - 105.50
105.50 - 105.60
105.60 - 105.70
105.70 - 105.80
105.80 - 105.90
105.90 - 106.00
106.00 - 106.10
106.10 - 106.20
106.20 - 106.30
106.30 - 106.40
106.40 - 106.50
106.50 - 106.60
106.60 - 106.70
106.70 - 106.80
106.80 - 106.90
106.90 - 107.00
107.00 - 107.10
107.10 - 107.20
107.20 - 107.30

0 50 100 Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

Barrage M1 : Phase chantier 2 - Cotes d'eau - Q10c

N

sens d'écoulement

Zone batardée

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

192.70 - 192.80
192.80 - 192.90
192.90 - 193.00
193.00 - 193.10
193.10 - 193.20
193.20 - 193.30
193.30 - 193.40
193.40 - 193.50

0 50 100 Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

Barrage M6 : Phase chantier 2 - Cotes d'eau - Q10c

N

sens d'écoulement

Zone batardée

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

154.70 - 154.80
154.80 - 154.90
154.90 - 155.00
155.00 - 155.10
155.10 - 155.20
155.20 - 155.30
155.30 - 155.40
155.40 - 155.50
155.50 - 155.60
155.60 - 155.70
155.70 - 155.80
155.80 - 155.90
155.90 - 156.00

0 50 100 Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

Barrage M9 : Phase chantier 2 - Cotes d'eau - Q10c

N

sens d'écoulement

Zone batardée

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

143.50 - 143.60
143.60 - 143.70
143.70 - 143.80
143.80 - 143.90
143.90 - 144.00
144.00 - 144.10
144.10 - 144.20

0 50 100 Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

Barrage M14 : Phase chantier 2 - Cotes d'eau - Q10c

N

sens d'écoulement

Zone batardée

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

129.80 - 129.90
129.90 - 130.00
130.00 - 130.10
130.10 - 130.20
130.20 - 130.30
130.30 - 130.40
130.40 - 130.50
130.50 - 130.60
130.60 - 130.70
130.70 - 130.80
130.80 - 130.90

0 50 100 Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

Barrage M17 : Phase chantier 2 - Cotes d'eau - Q10c

N

sens d'écoulement

Zone batardée

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

122.80 - 122.90
122.90 - 123.00
123.00 - 123.10
123.10 - 123.20
123.20 - 123.30
123.30 - 123.40
123.40 - 123.50
123.50 - 123.60
123.60 - 123.70
123.70 - 123.80
123.80 - 123.90
123.90 - 124.00
124.00 - 124.10
124.10 - 124.20
124.20 - 124.30

0 50 100 Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

Barrage M18 : Phase chantier 2 - Cotes d'eau - Q10c

BAMEO
BARRAGES AISNE & MEUSE

N

sens d'écoulement

Zone batardée

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

117.40 - 117.50
117.50 - 117.60
117.60 - 117.70
117.70 - 117.80
117.80 - 117.90
117.90 - 118.00
118.00 - 118.10
118.10 - 118.20
118.20 - 118.30
118.30 - 118.40
118.40 - 118.50
118.50 - 118.60
118.60 - 118.70
118.70 - 118.80
118.80 - 118.90
118.90 - 119.00
119.00 - 119.10
119.10 - 119.20
119.20 - 119.30
119.30 - 119.40
119.40 - 119.50

0 50 100 Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

Barrage M20 : Phase chantier 2 - Cotes d'eau - Q10c

N

sens d'écoulement

Zone batardée

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

113.10 - 113.20
113.20 - 113.30
113.30 - 113.40
113.40 - 113.50
113.50 - 113.60
113.60 - 113.70
113.70 - 113.80
113.80 - 113.90
113.90 - 114.00
114.00 - 114.10
114.10 - 114.20
114.20 - 114.30
114.30 - 114.40
114.40 - 114.50
114.50 - 114.60
114.60 - 114.70
114.70 - 114.80
114.80 - 114.90
114.90 - 115.00
115.00 - 115.10
115.10 - 115.20

0 50 100 Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

Barrage M24 : Phase chantier 2 - Cotes d'eau - Q10c

N

sens d'écoulement

Zone batardée

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

105.00 - 105.10
105.10 - 105.20
105.20 - 105.30
105.30 - 105.40
105.40 - 105.50
105.50 - 105.60
105.60 - 105.70
105.70 - 105.80
105.80 - 105.90
105.90 - 106.00
106.00 - 106.10
106.10 - 106.20
106.20 - 106.30
106.30 - 106.40
106.40 - 106.50
106.50 - 106.60
106.60 - 106.70
106.70 - 106.80
106.80 - 106.90
106.90 - 107.00
107.00 - 107.10
107.10 - 107.20
107.20 - 107.30

0 50 100 Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

Barrage M1 : Phase chantier 3 - Cotes d'eau - Q10c

N

sens d'écoulement

Zone batardée

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

192.70 - 192.80
192.80 - 192.90
192.90 - 193.00
193.00 - 193.10
193.10 - 193.20
193.20 - 193.30
193.30 - 193.40
193.40 - 193.50

0 50 100 Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

Barrage M9 : Phase chantier 3 - Cotes d'eau - Q10c

N

sens d'écoulement

Zone batardée

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

143.50 - 143.60
143.60 - 143.70
143.70 - 143.80
143.80 - 143.90
143.90 - 144.00
144.00 - 144.10
144.10 - 144.20

0 50 100 Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

Barrage M14 : Phase chantier 3 - Cotes d'eau - Q10c

N

sens d'écoulement

Zone batardée

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

129.70 - 129.80
129.80 - 129.90
129.90 - 130.00
130.00 - 130.10
130.10 - 130.20
130.20 - 130.30
130.30 - 130.40
130.40 - 130.50
130.50 - 130.60
130.60 - 130.70
130.70 - 130.80
130.80 - 130.90

0 50 100 Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

Barrage M17 : Phase chantier 3 - Cotes d'eau - Q10c

N

sens d'écoulement

Zone batardée

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

122.70 - 122.80
122.80 - 122.90
122.90 - 123.00
123.00 - 123.10
123.10 - 123.20
123.20 - 123.30
123.30 - 123.40
123.40 - 123.50
123.50 - 123.60
123.60 - 123.70
123.70 - 123.80
123.80 - 123.90
123.90 - 124.00
124.00 - 124.10
124.10 - 124.20
124.20 - 124.30

0 50 100 Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

Barrage M18 : Phase chantier 3 - Cotes d'eau - Q10c

N

sens d'écoulement

Zone batardée

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

117.40 - 117.50
117.50 - 117.60
117.60 - 117.70
117.70 - 117.80
117.80 - 117.90
117.90 - 118.00
118.00 - 118.10
118.10 - 118.20
118.20 - 118.30
118.30 - 118.40
118.40 - 118.50
118.50 - 118.60
118.60 - 118.70
118.70 - 118.80
118.80 - 118.90
118.90 - 119.00
119.00 - 119.10
119.10 - 119.20
119.20 - 119.30
119.30 - 119.40
119.40 - 119.50

0 50 100 Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

Barrage M20 : Phase chantier 3 - Cotes d'eau - Q10c

N

sens d'écoulement

Zone batardée

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

113.10 - 113.20
113.20 - 113.30
113.30 - 113.40
113.40 - 113.50
113.50 - 113.60
113.60 - 113.70
113.70 - 113.80
113.80 - 113.90
113.90 - 114.00
114.00 - 114.10
114.10 - 114.20
114.20 - 114.30
114.30 - 114.40
114.40 - 114.50
114.50 - 114.60
114.60 - 114.70
114.70 - 114.80
114.80 - 114.90
114.90 - 115.00
115.00 - 115.10
115.10 - 115.20

0 50 100 Mètres

Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

Barrage M24 : Phase chantier 3 - Cotes d'eau - Q10c

N

sens d'écoulement

Zone batardée

Zone modélisée

Cote d'eau (mNGF)

105.00 - 105.10
105.10 - 105.20
105.20 - 105.30
105.30 - 105.40
105.40 - 105.50
105.50 - 105.60
105.60 - 105.70
105.70 - 105.80
105.80 - 105.90
105.90 - 106.00
106.00 - 106.10
106.10 - 106.20
106.20 - 106.30
106.30 - 106.40
106.40 - 106.50
106.50 - 106.60
106.60 - 106.70
106.70 - 106.80
106.80 - 106.90
106.90 - 107.00
107.00 - 107.10
107.10 - 107.20
107.20 - 107.30

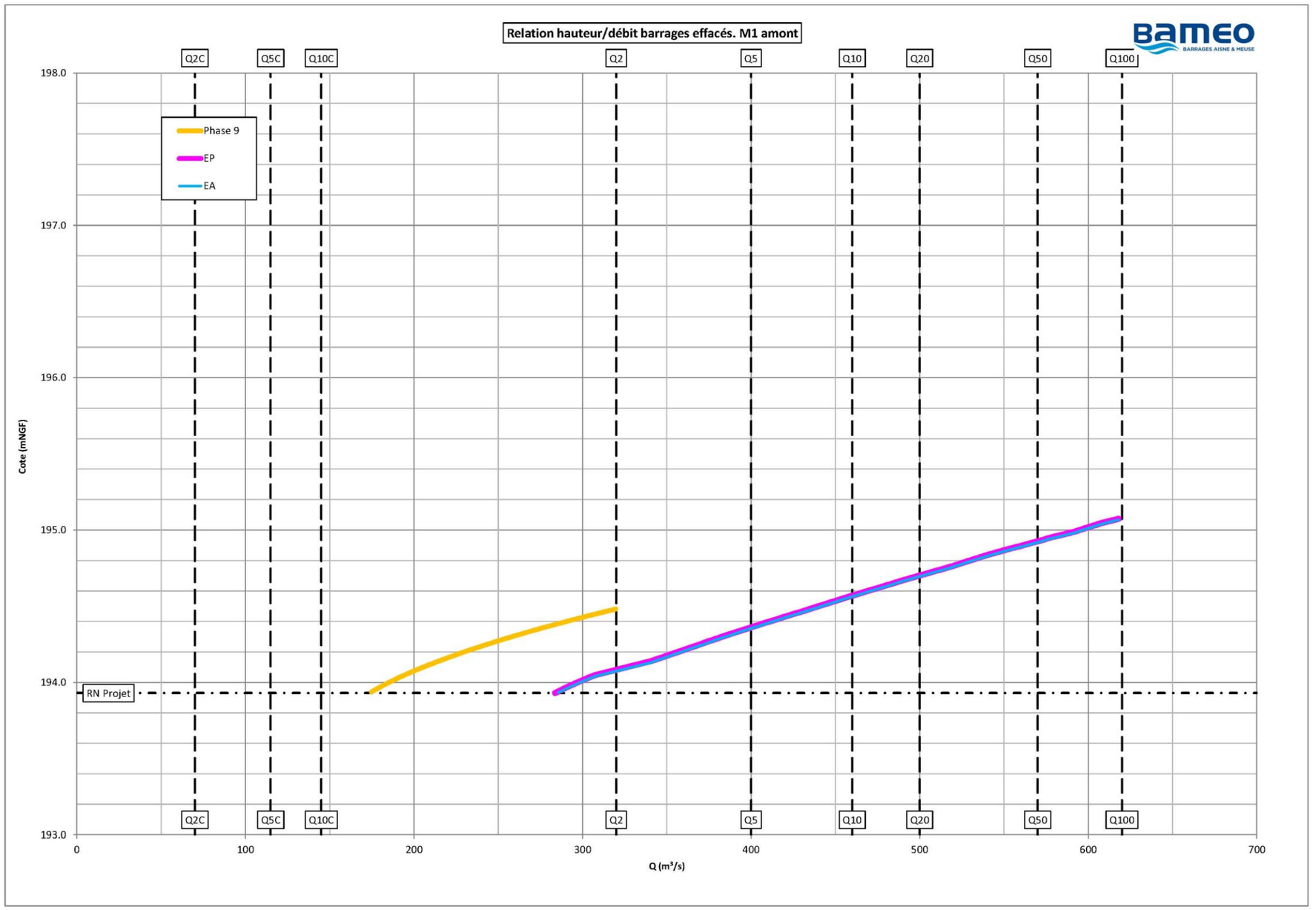
0 50 100 Mètres

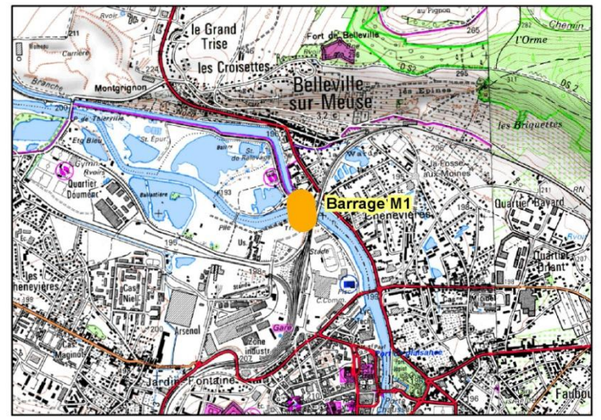
Carto_Cotes3.mxd

V0 du 12/02/2014

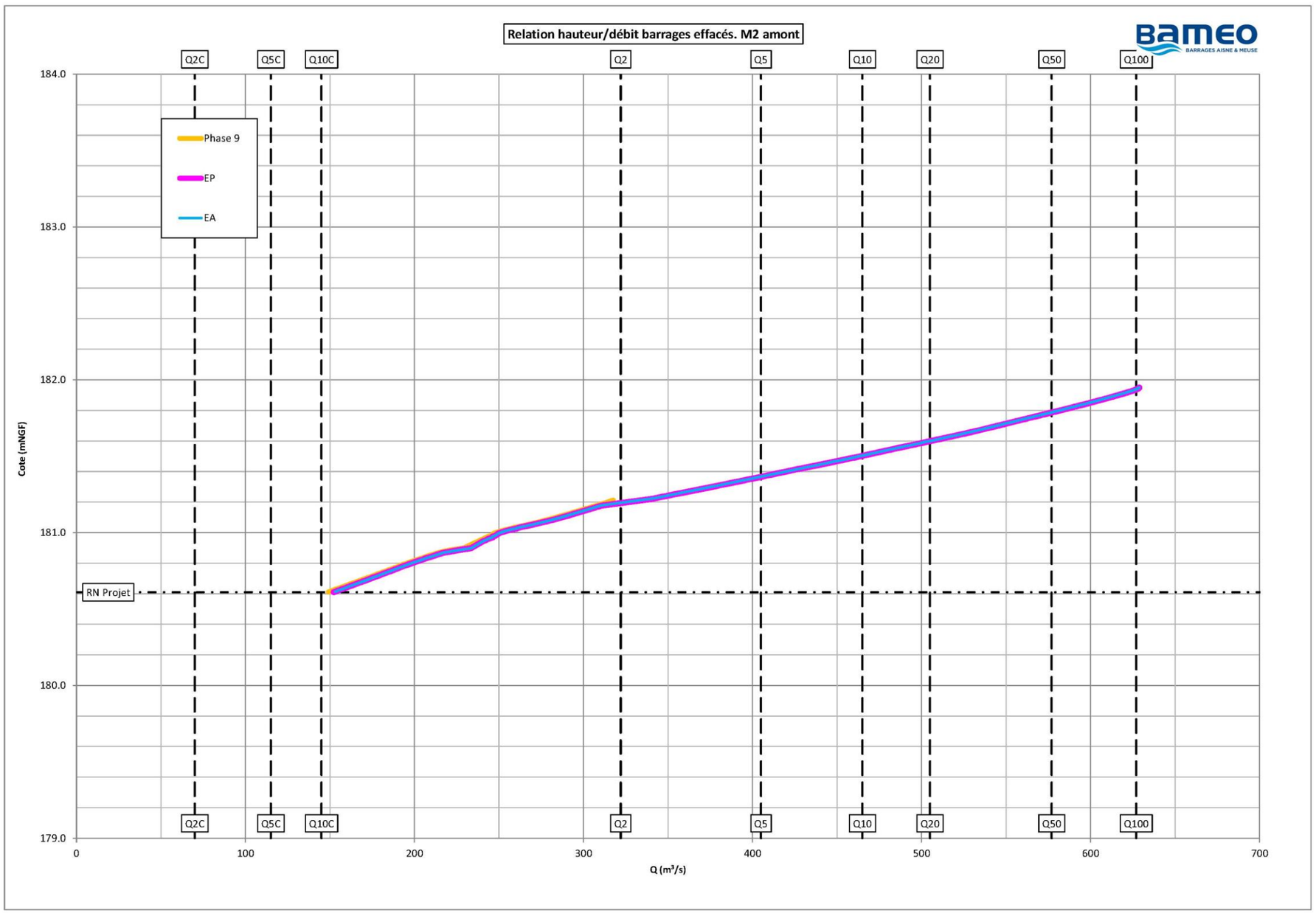
4.6. ANNEXE 6 : RELATIONS DEBIT / COTE A L'AMONT DES BARRAGES (PROJET AVP)

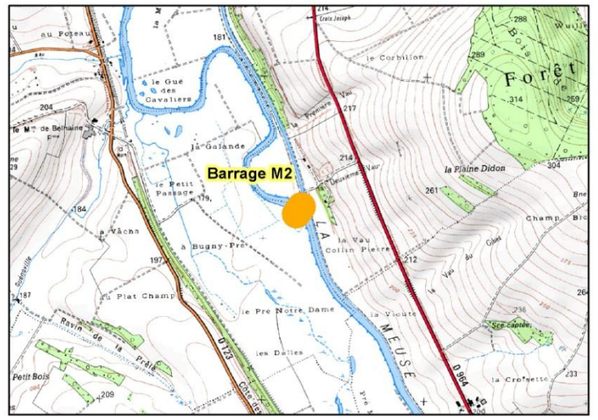
Relation hauteur/débit barrages effacés. M1 amont



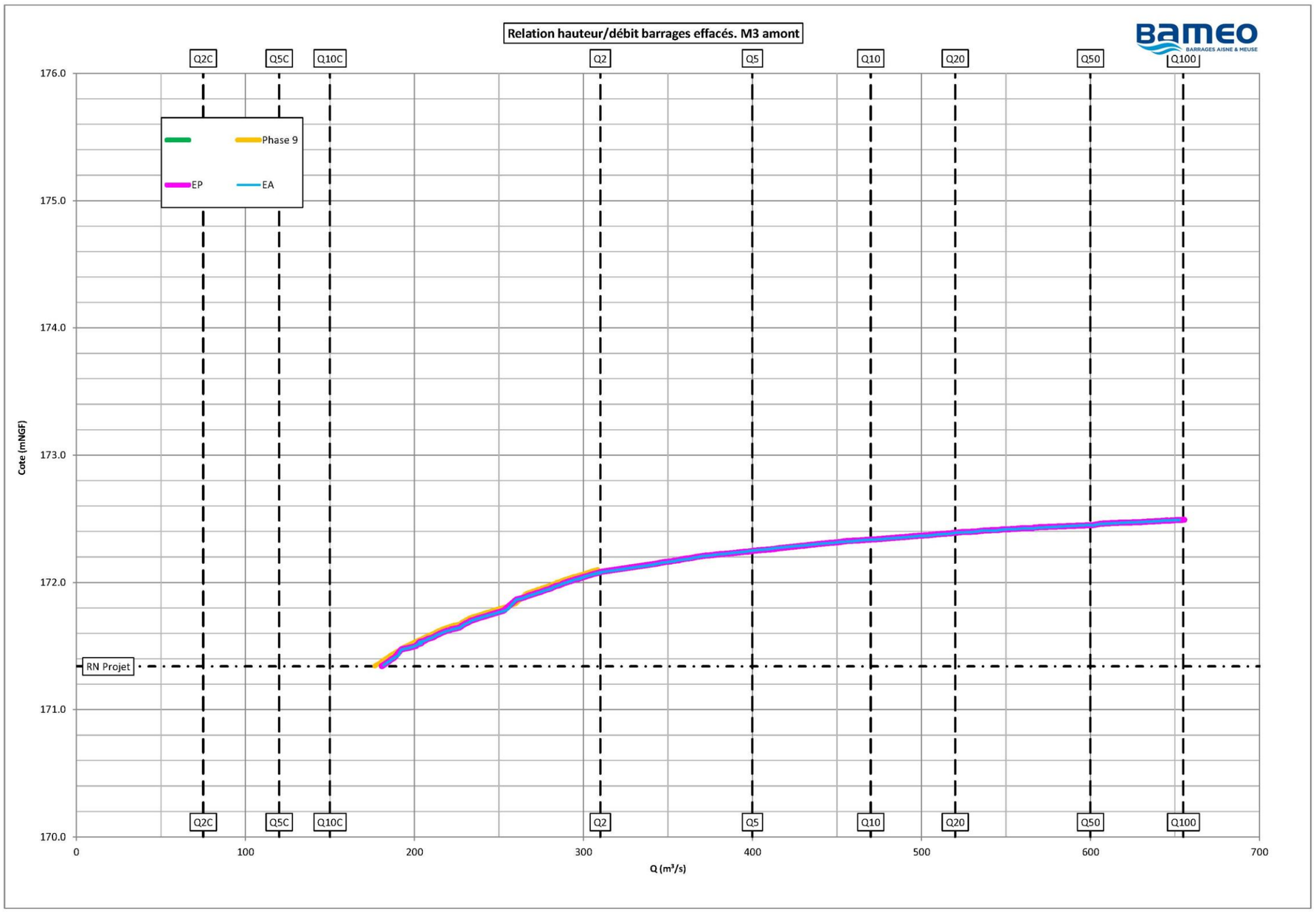


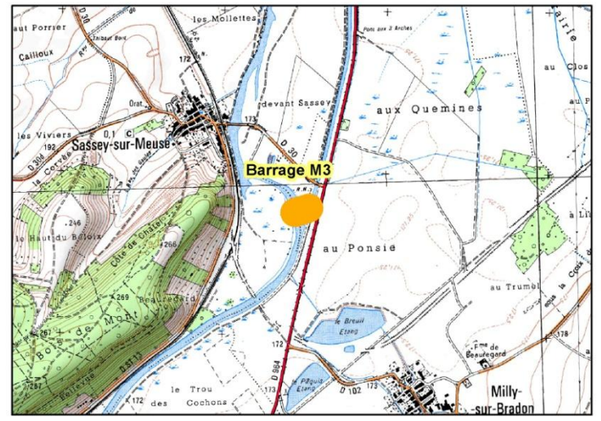
Relation hauteur/débit barrages effacés. M2 amont



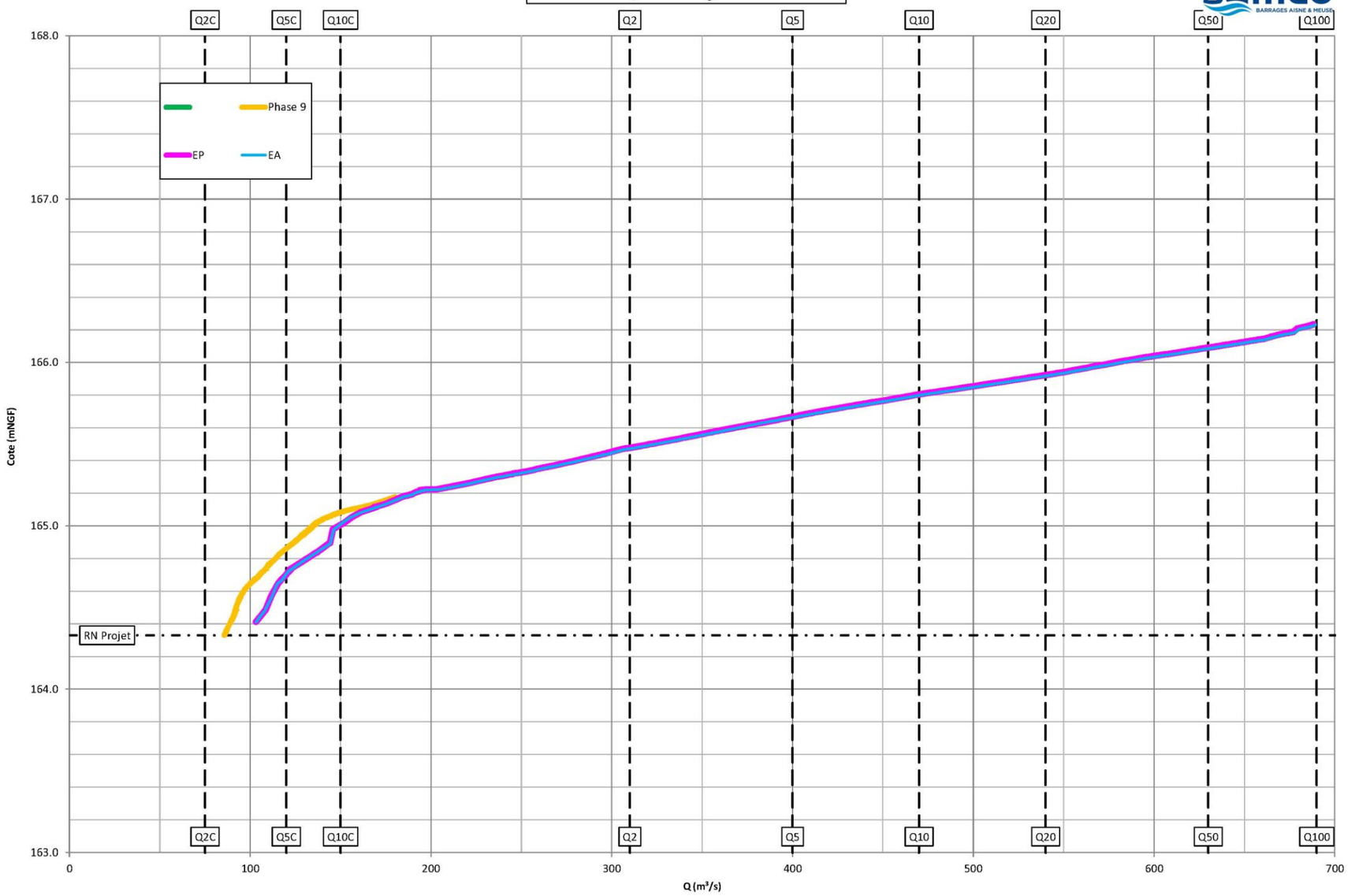


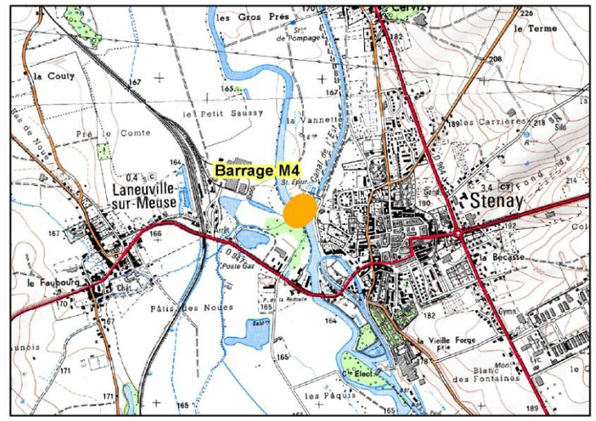
Relation hauteur/débit barrages effacés. M3 amont



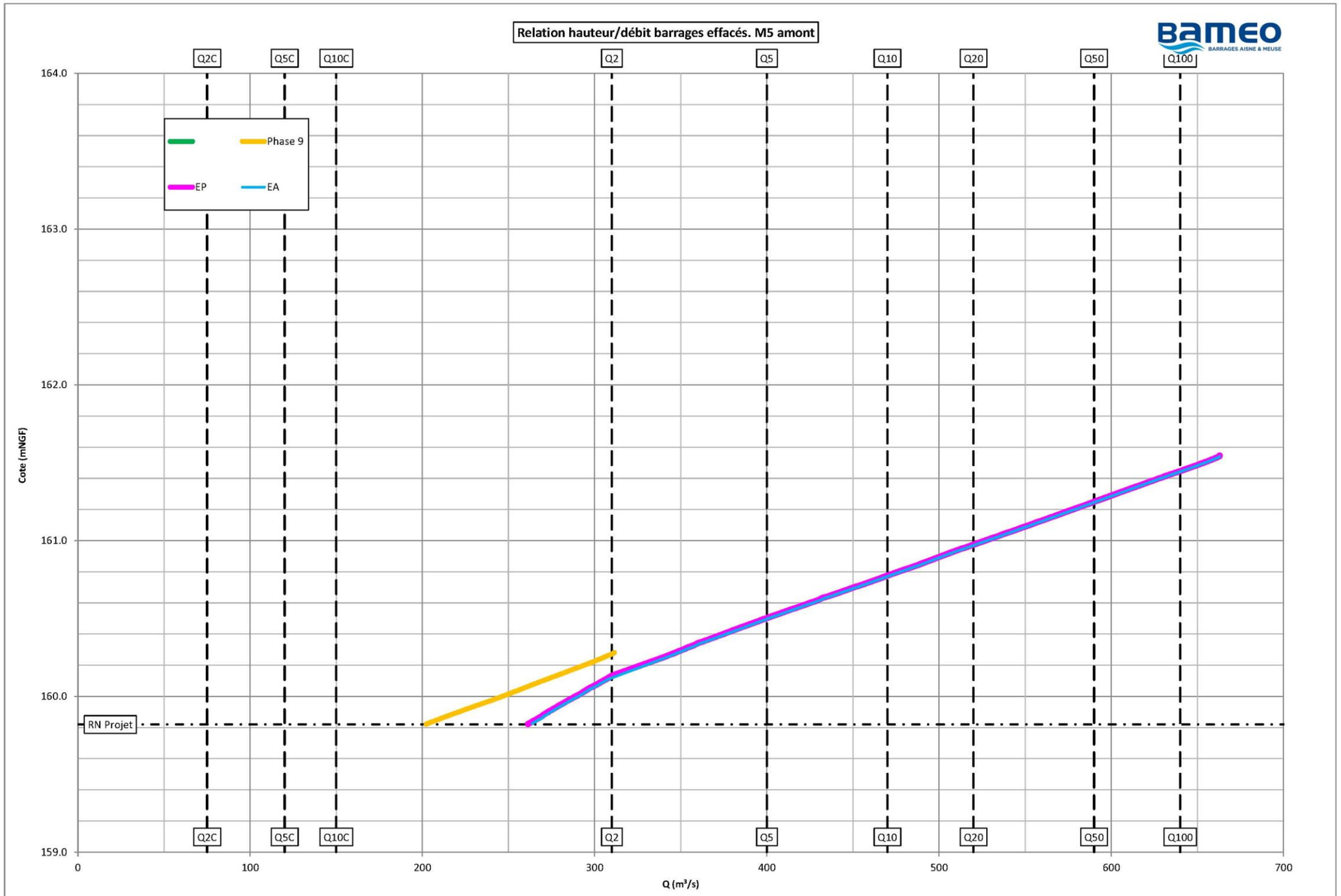


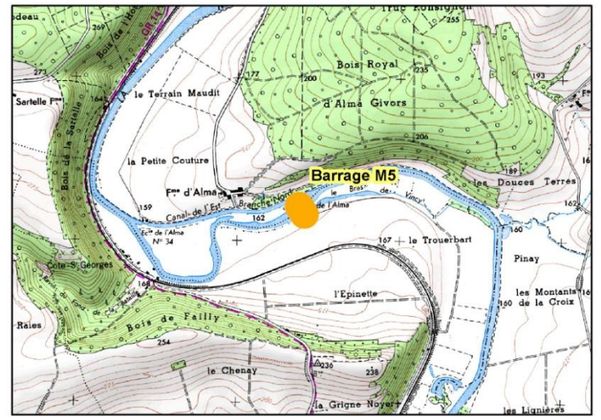
Relation hauteur/débit barrages effacés. M4 amont



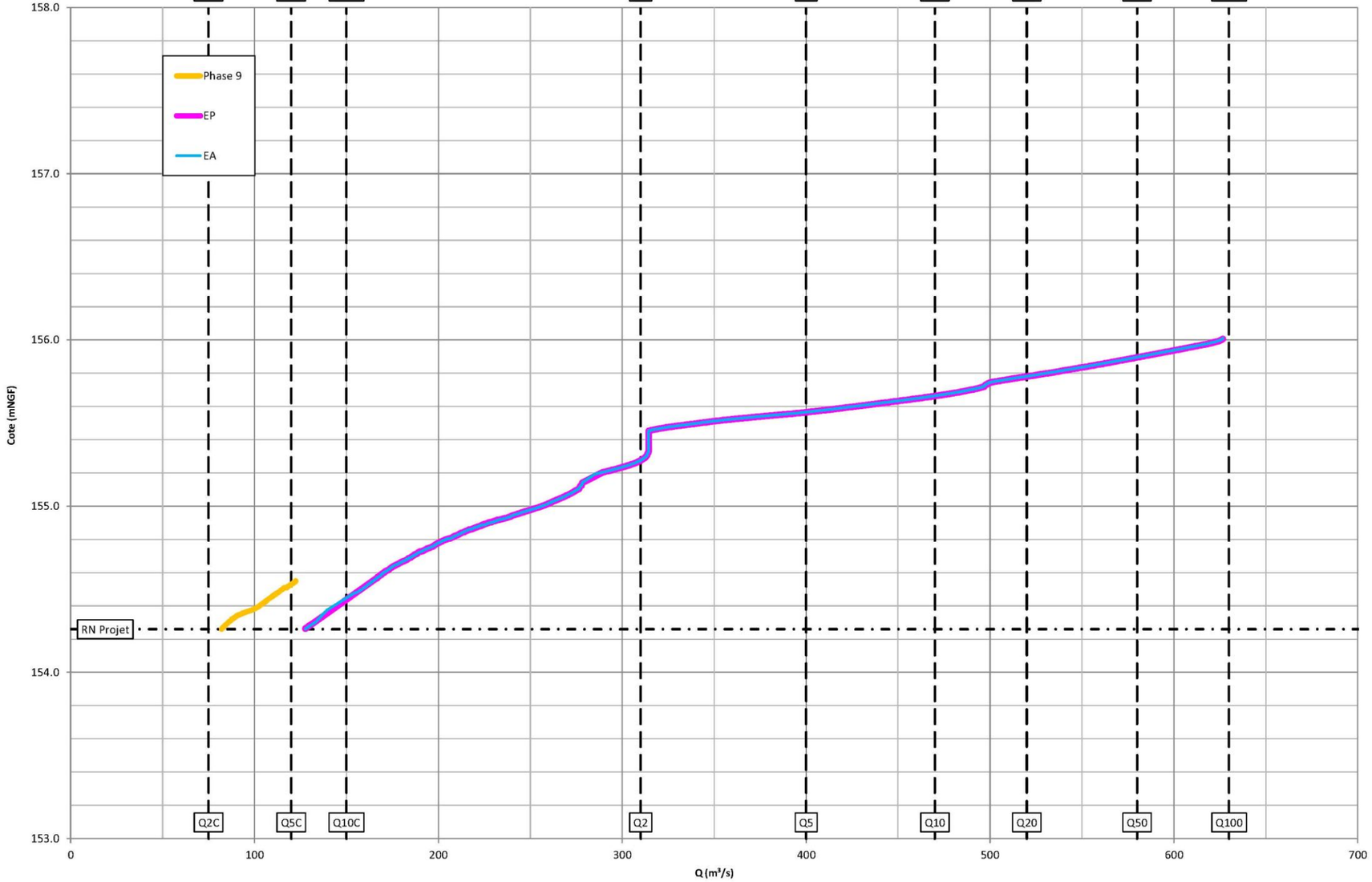


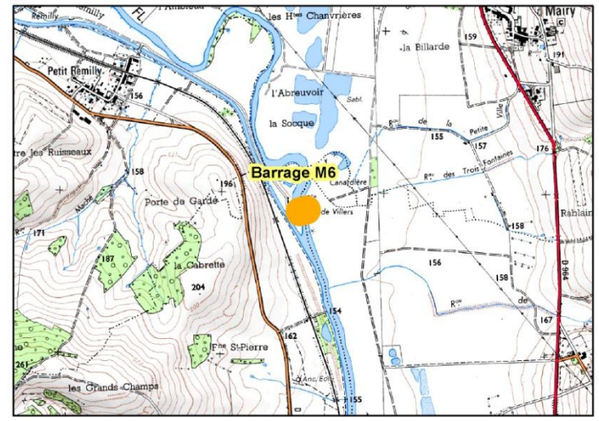
Relation hauteur/débit barrages effacés. M5 amont



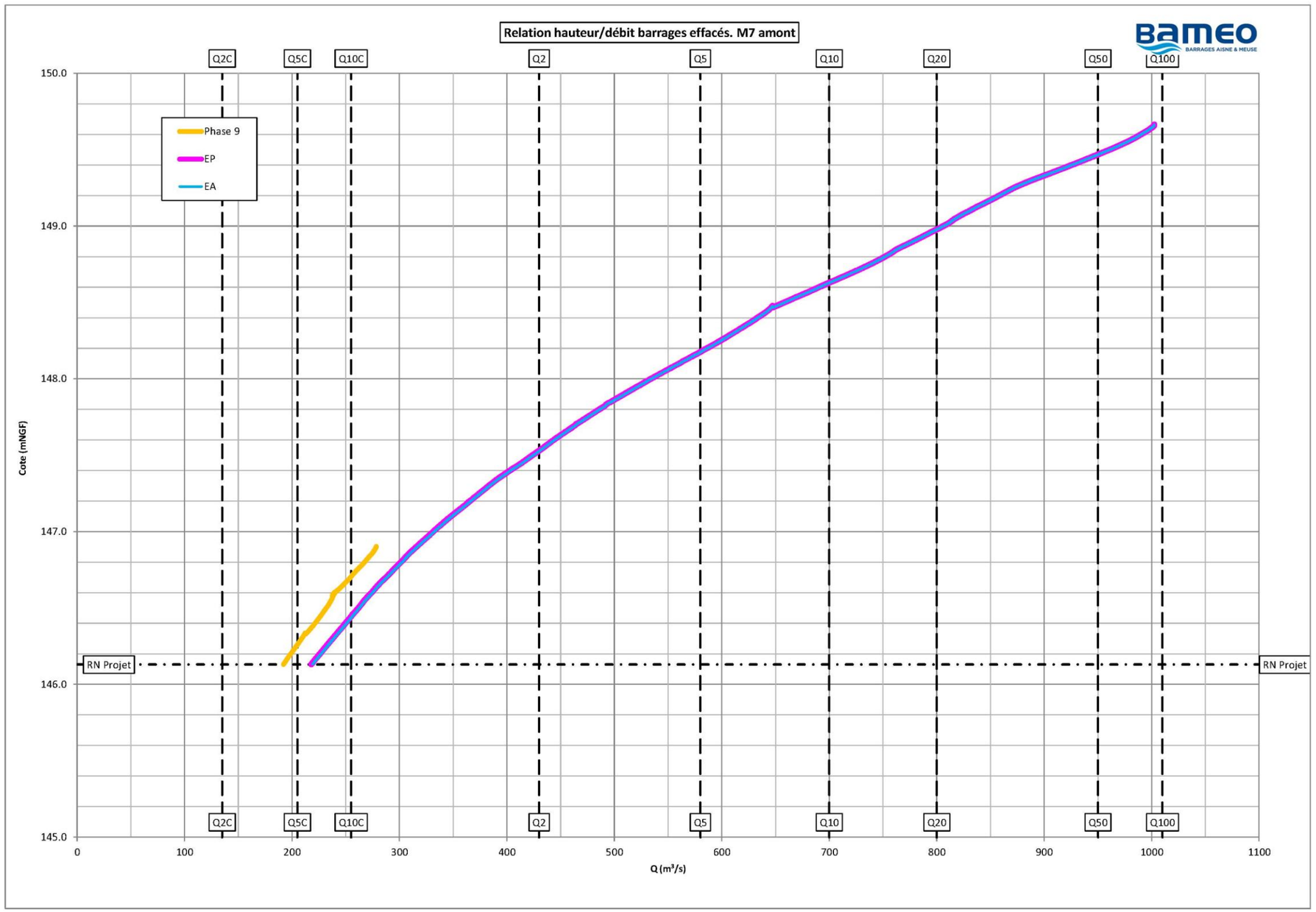


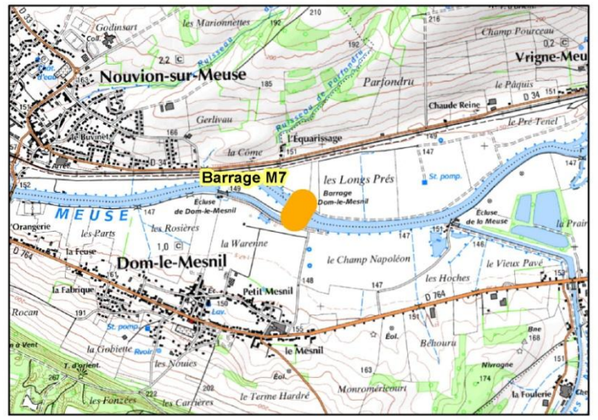
Relation hauteur/débit barrages effacés. M6 amont



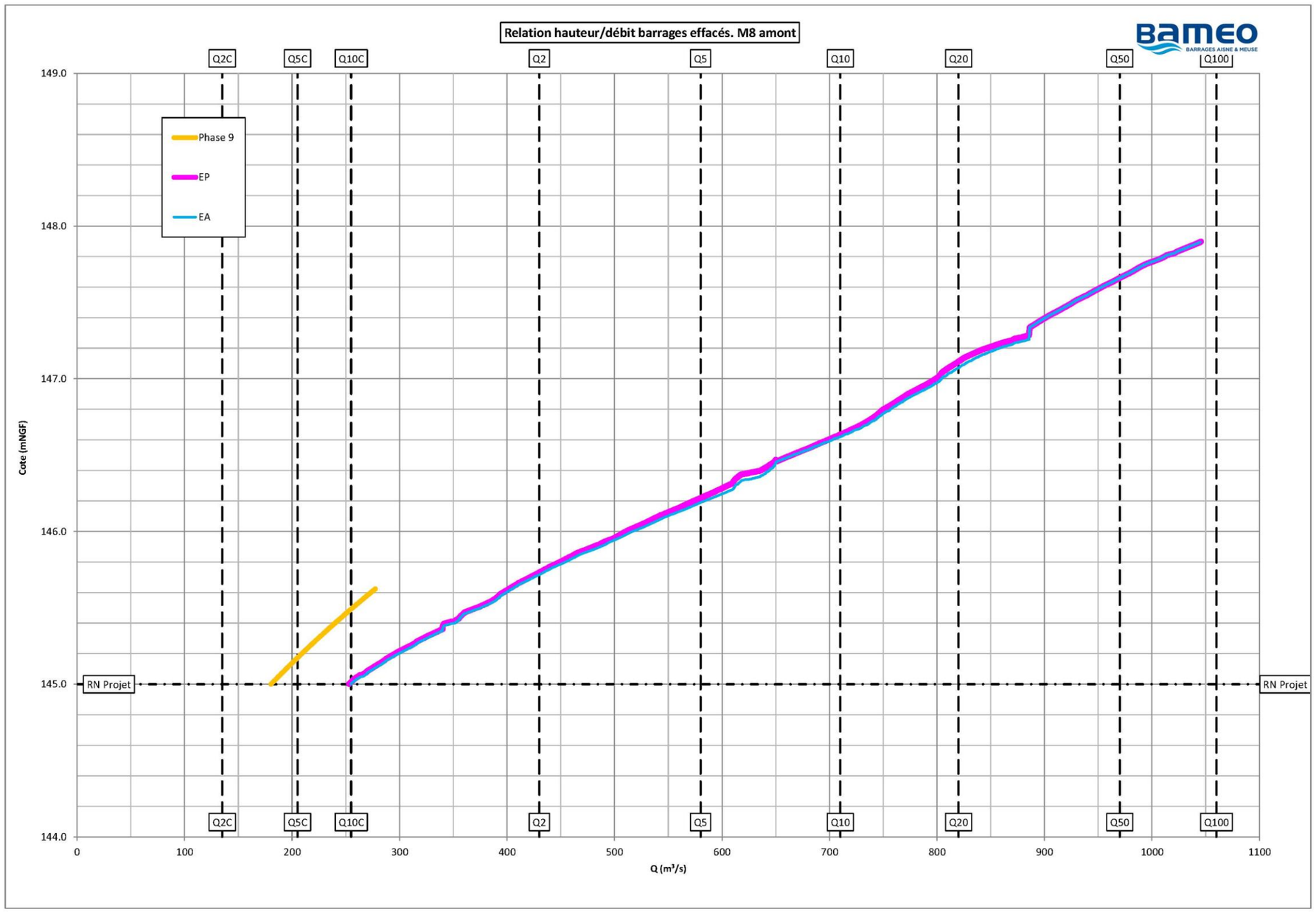


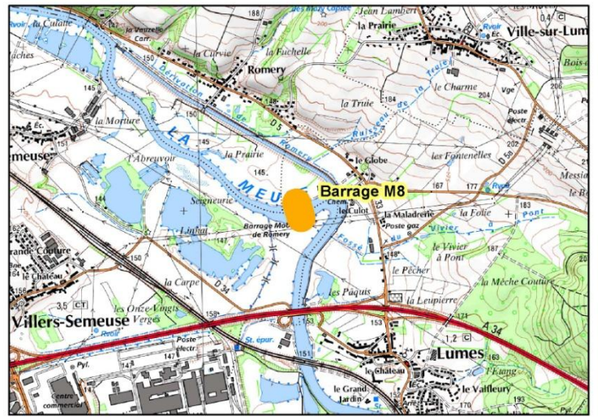
Relation hauteur/débit barrages effacés. M7 amont



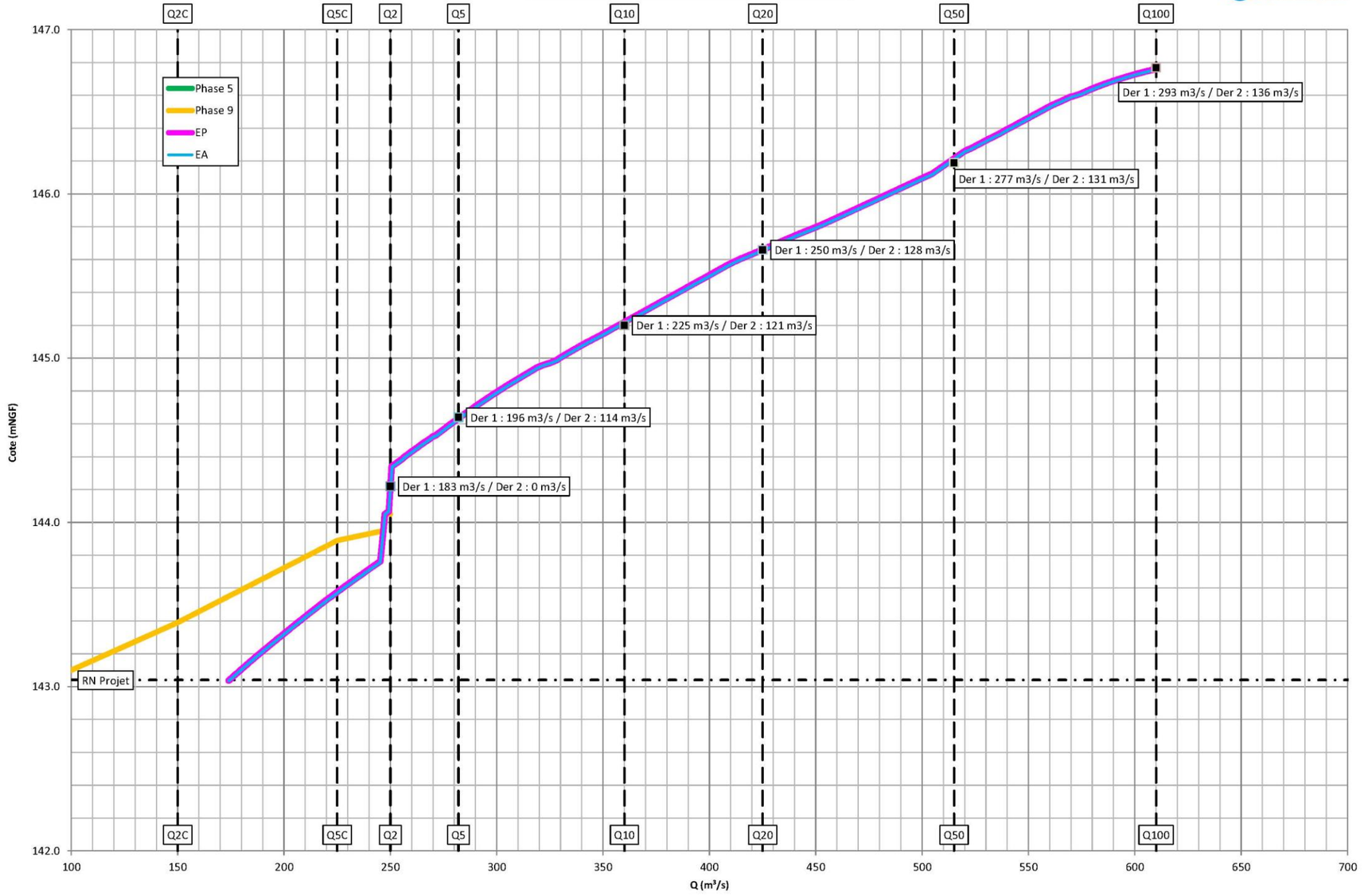


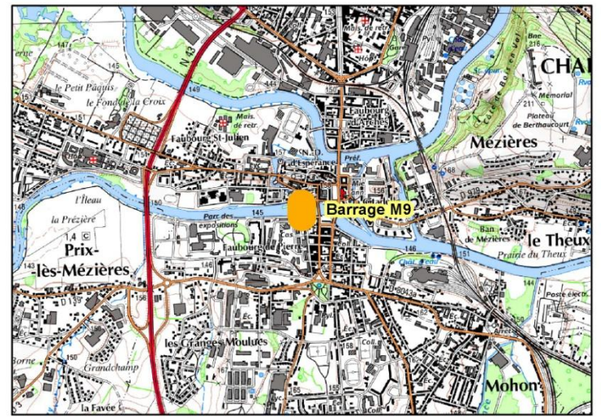
Relation hauteur/débit barrages effacés. M8 amont



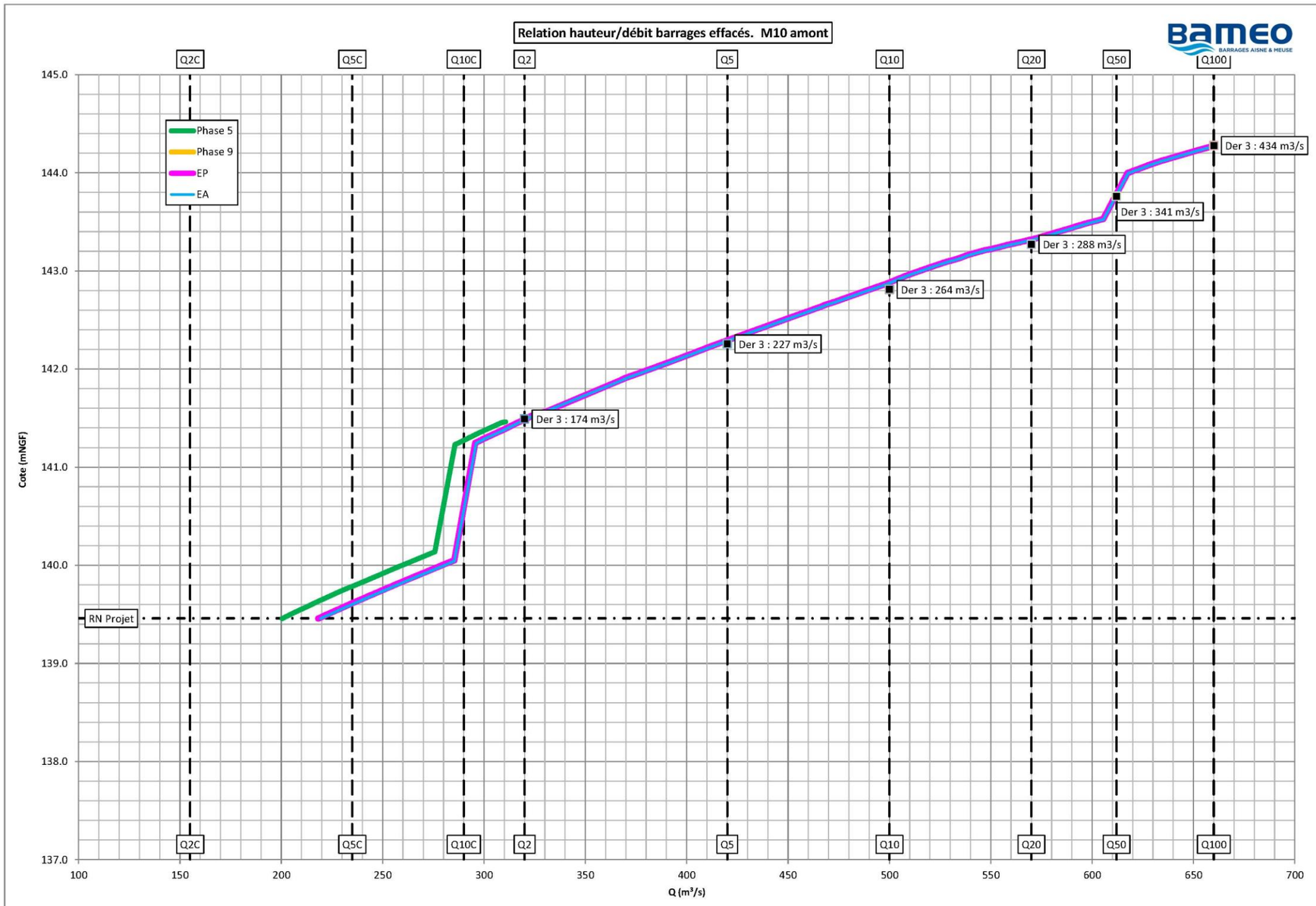


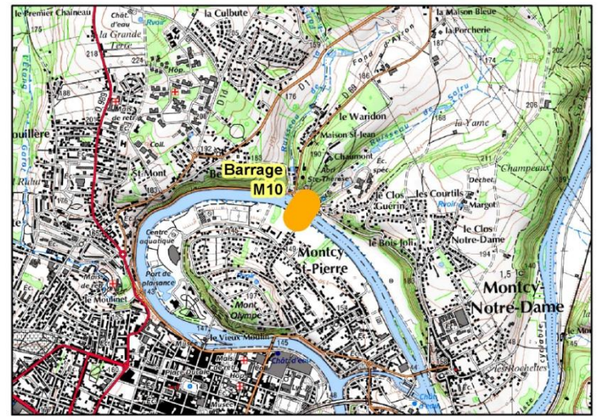
Relation hauteur/débit barrages effacés. M9 amont



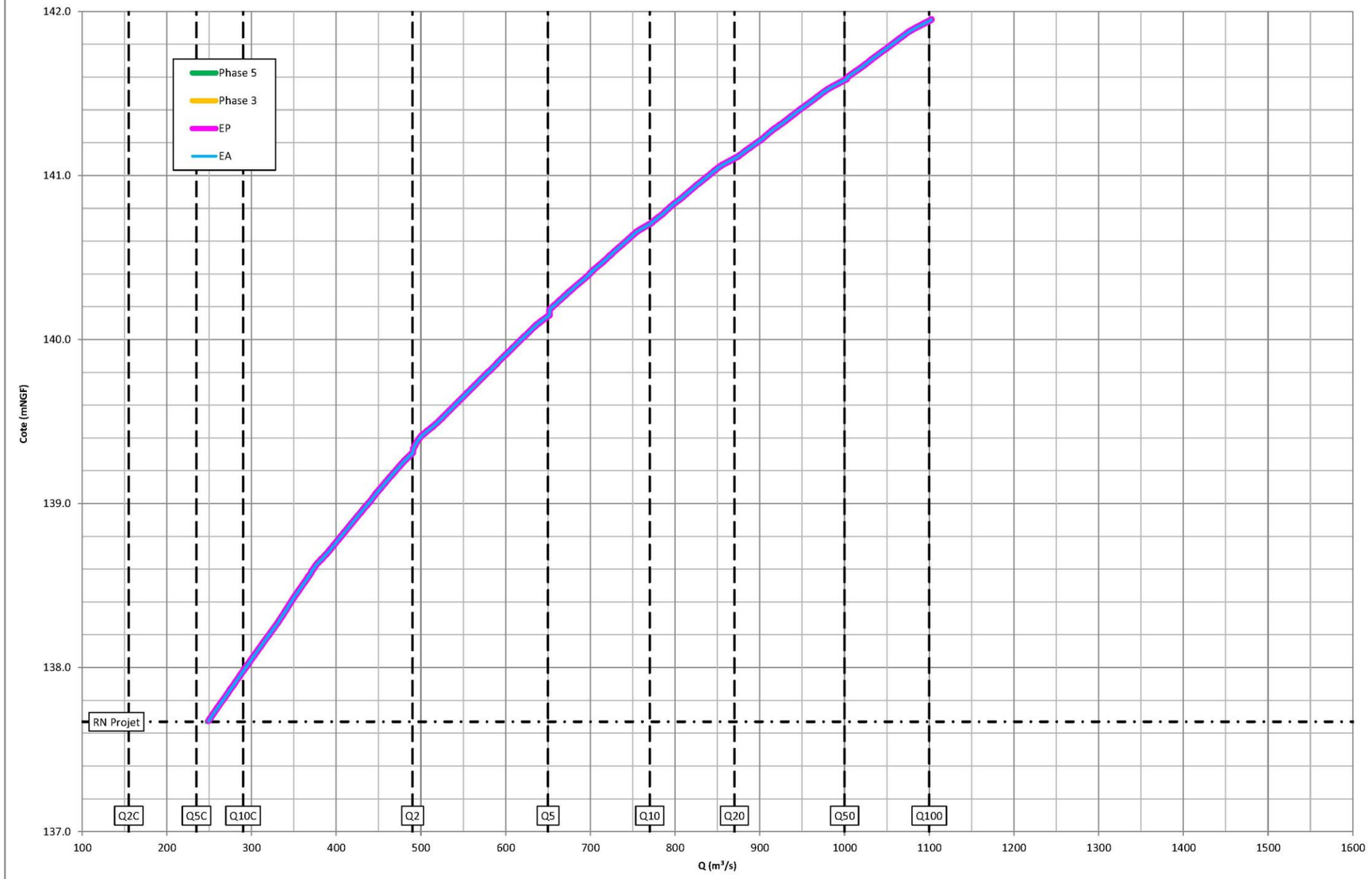


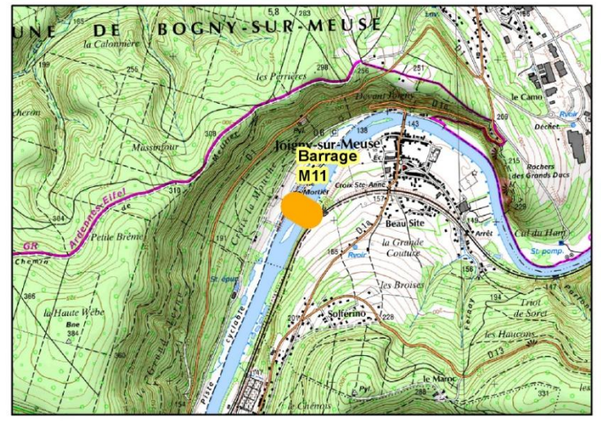
Relation hauteur/débit barrages effacés. M10 amont



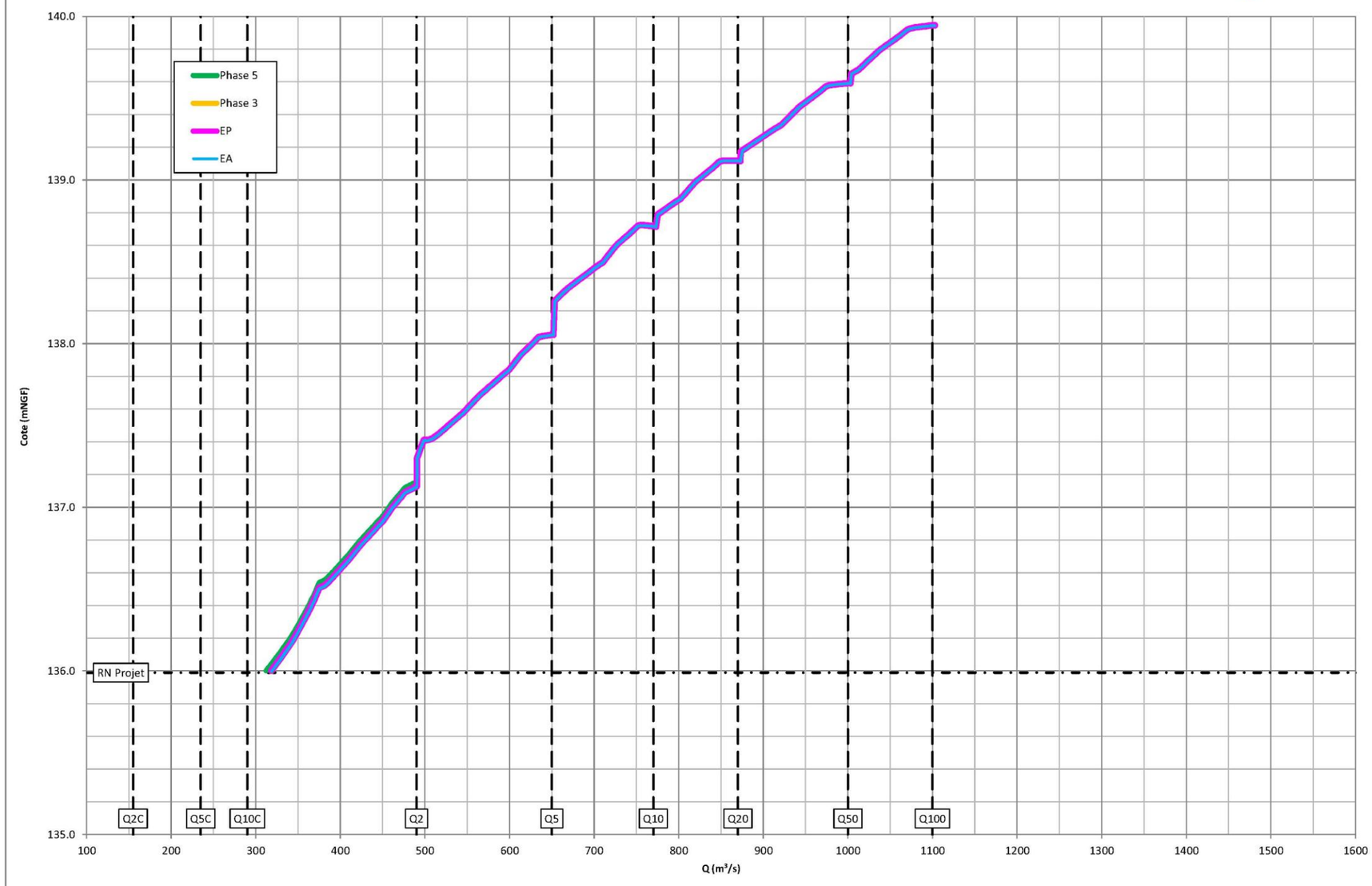


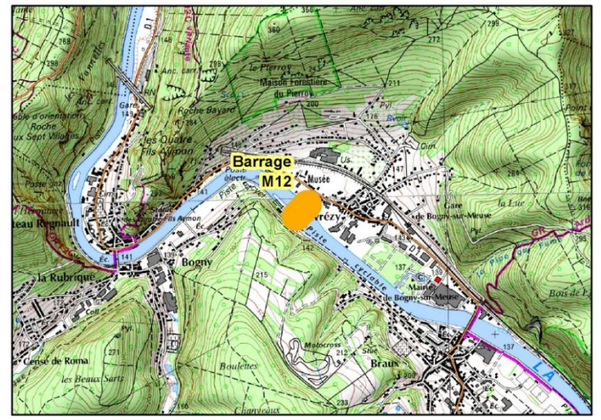
Relation hauteur/débit barrages effacés. M11 amont



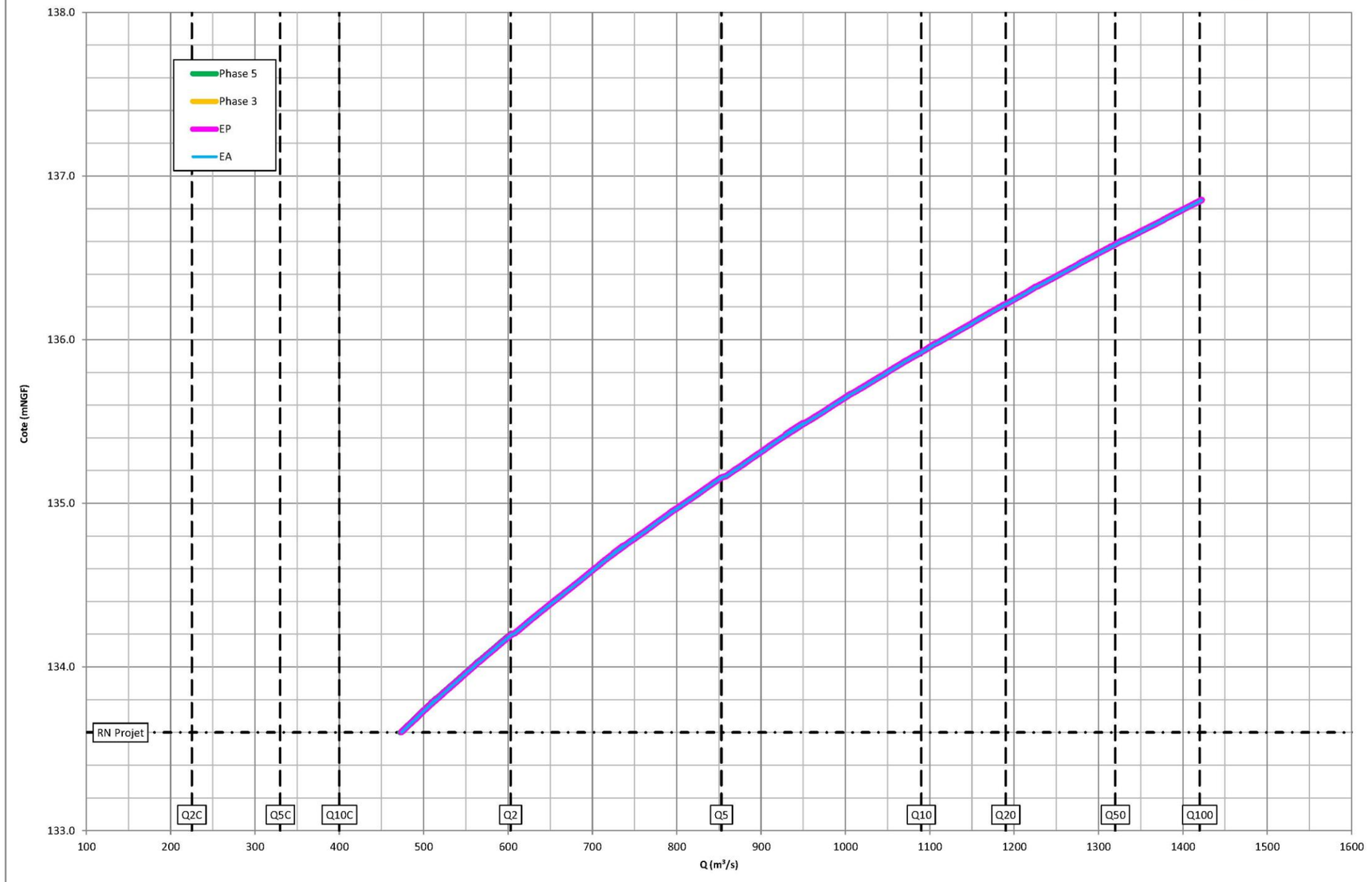


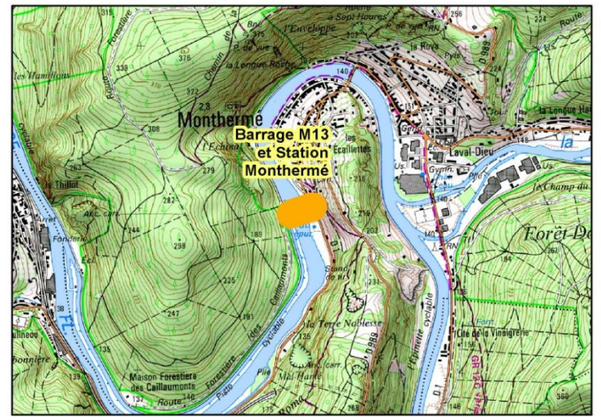
Relation hauteur/débit barrages effacés. M12 amont



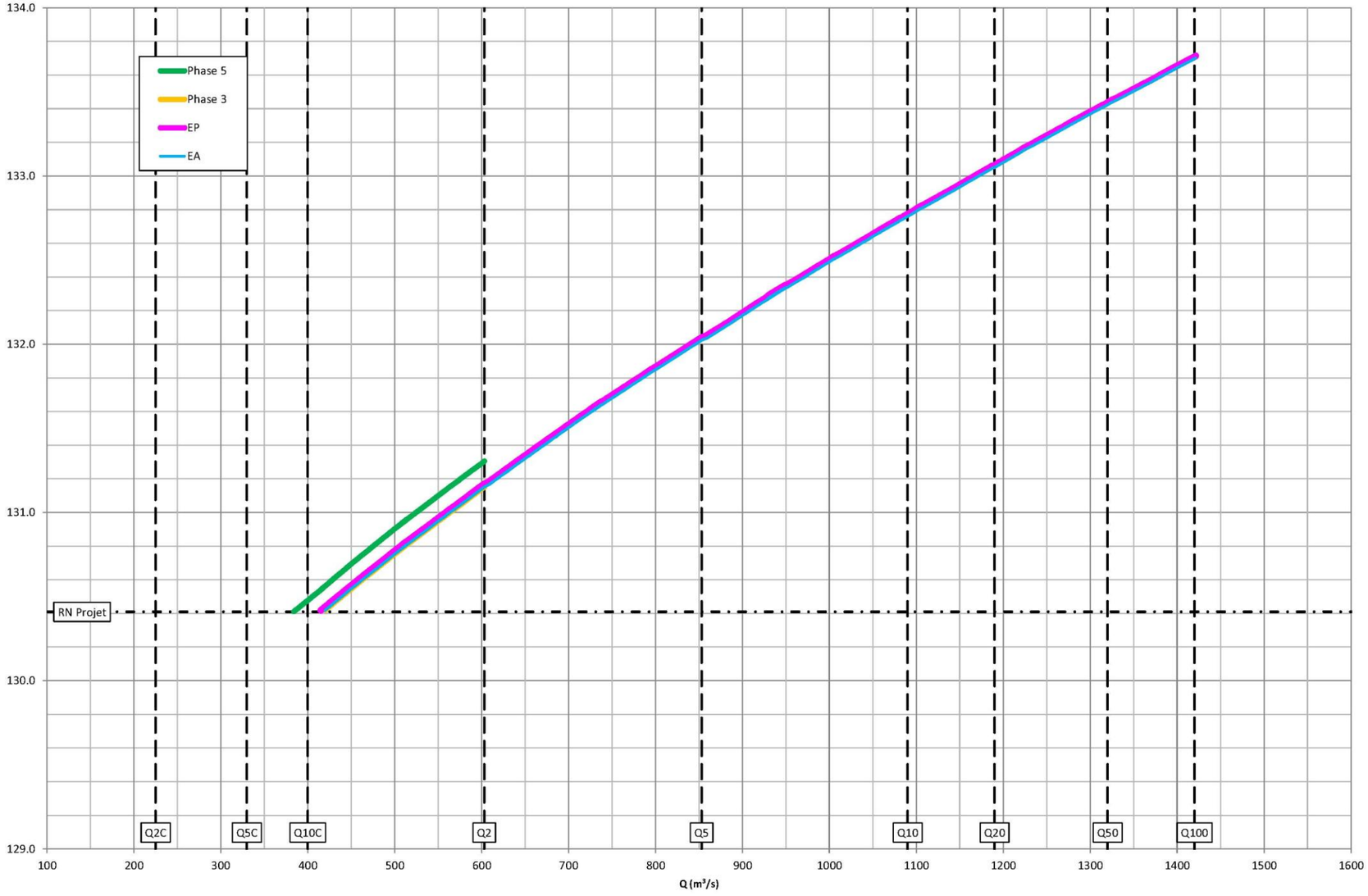


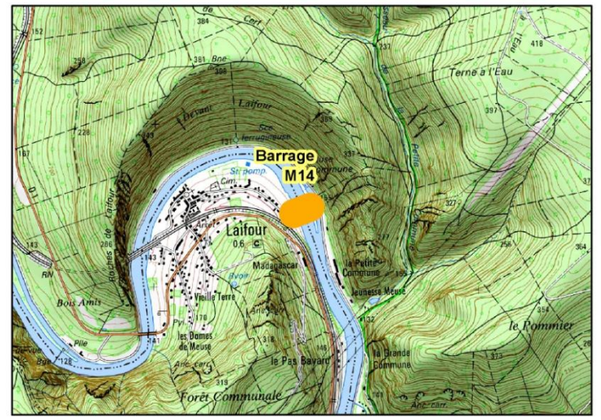
Relation hauteur/débit barrages effacés. Station MS03



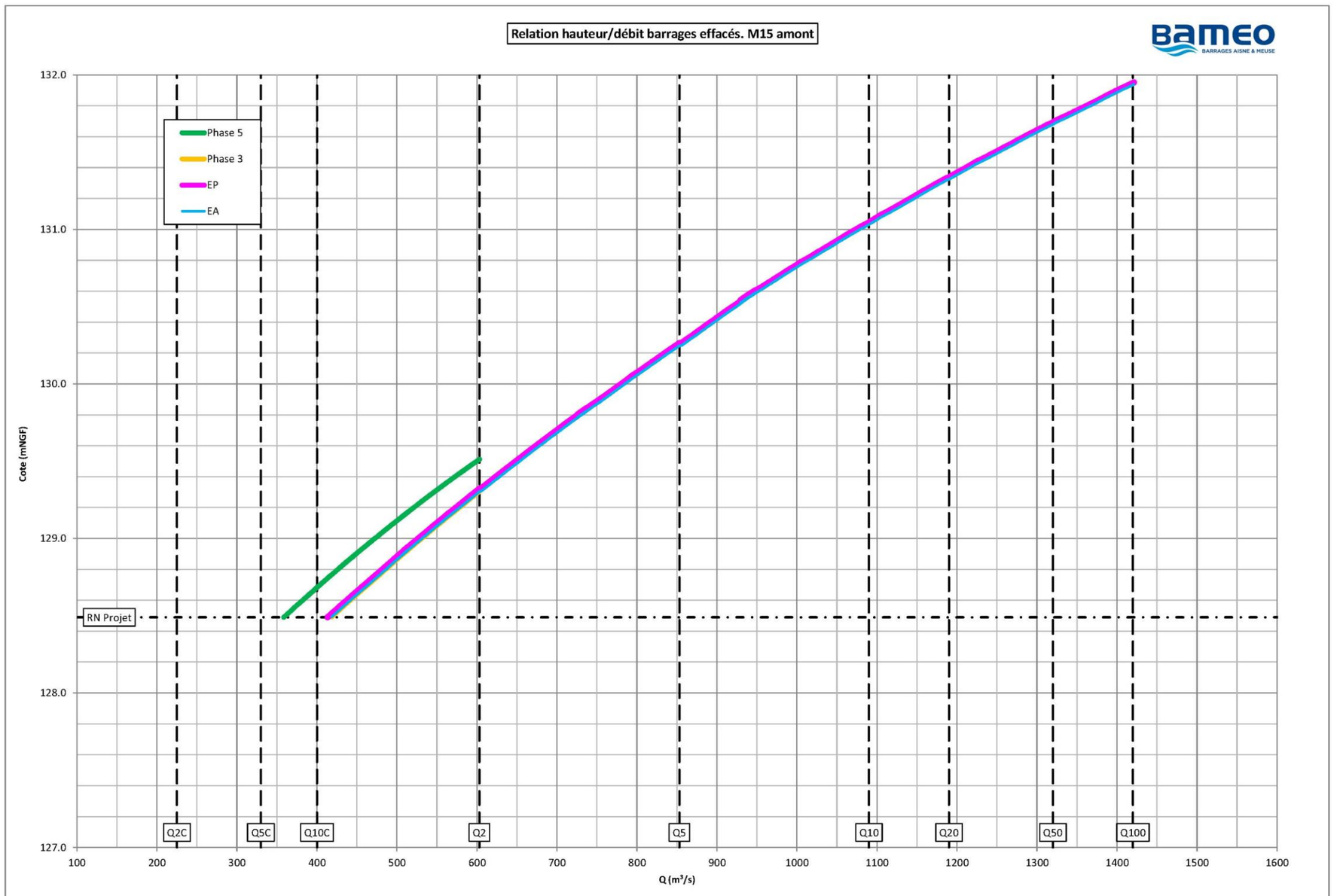


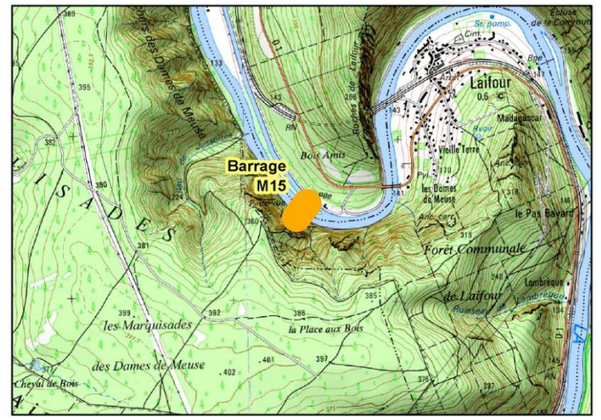
Relation hauteur/débit barrages effacés. M14 amont



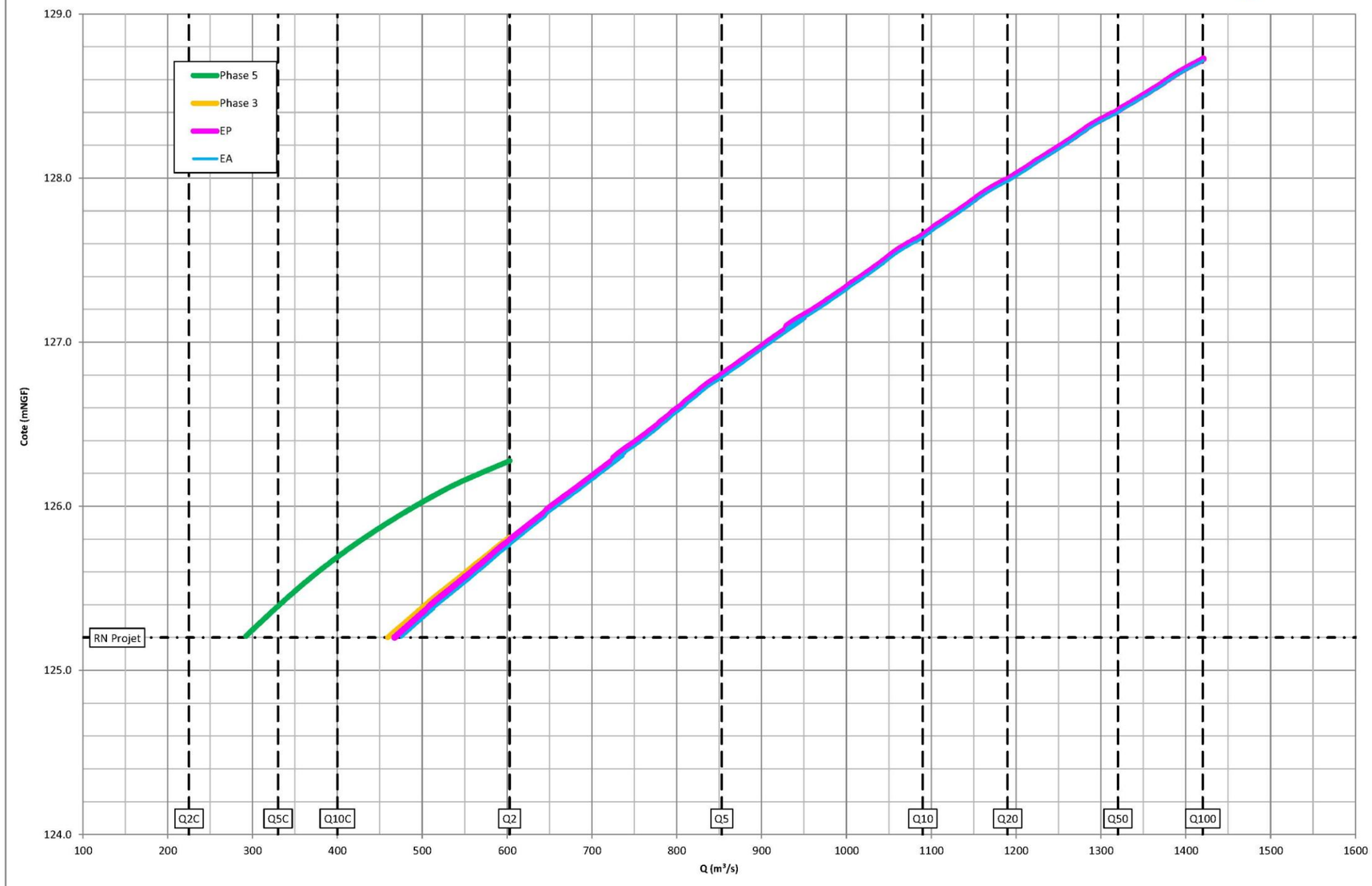


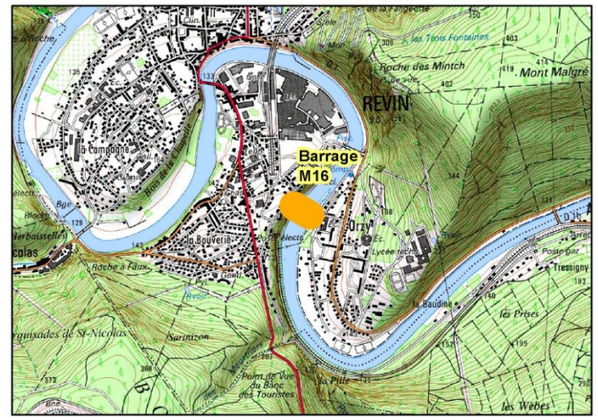
Relation hauteur/débit barrages effacés. M15 amont



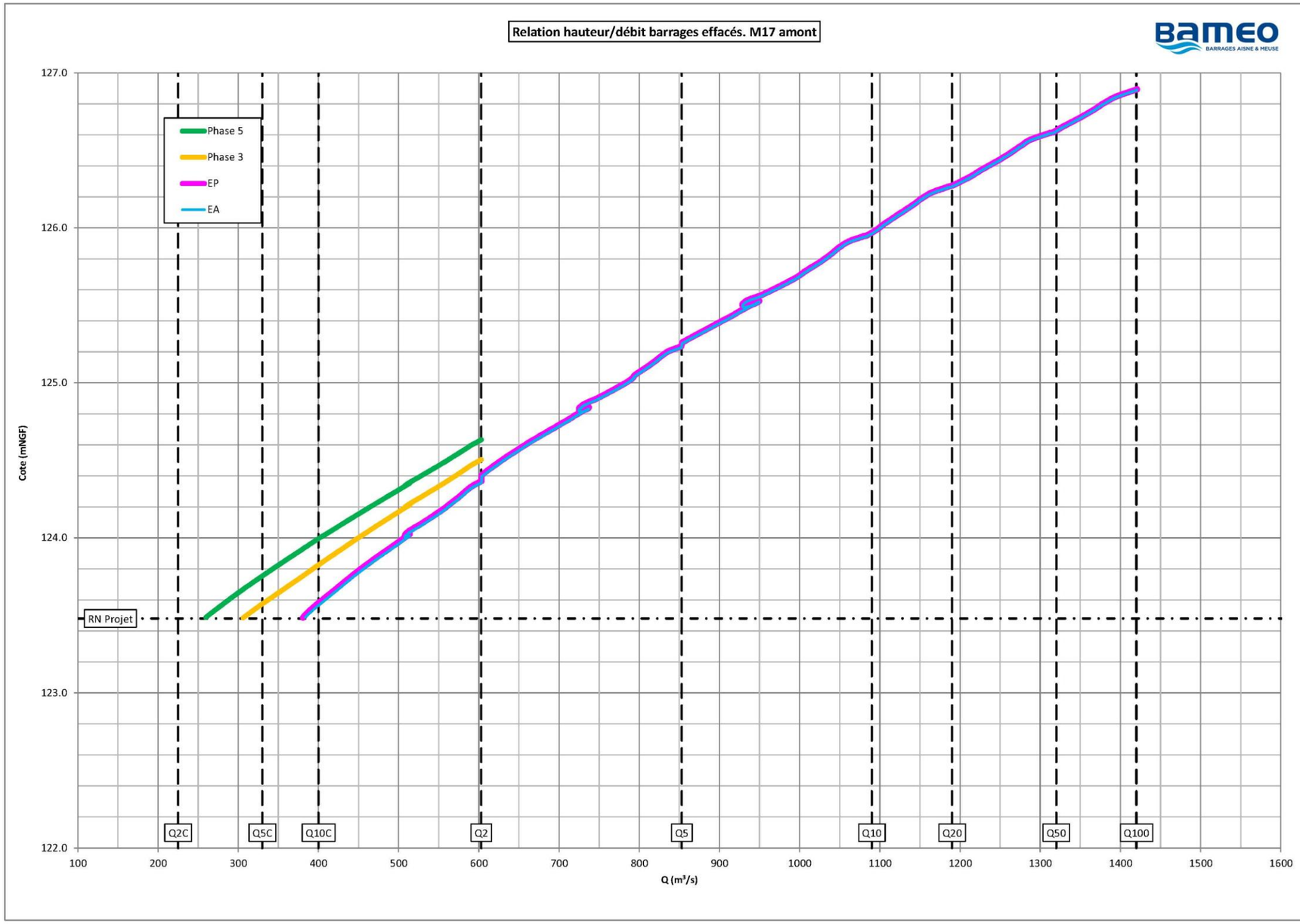


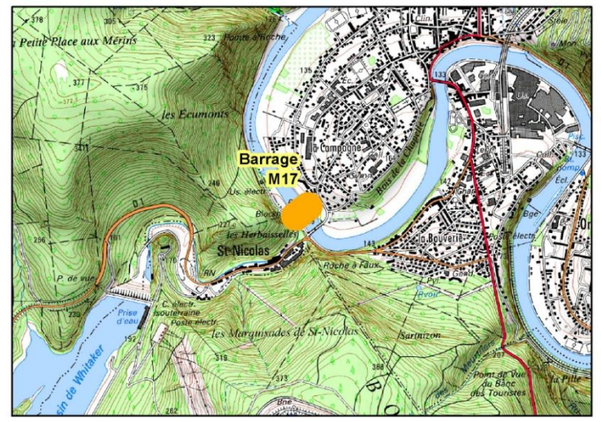
Relation hauteur/débit barrages effacés. M16 amont



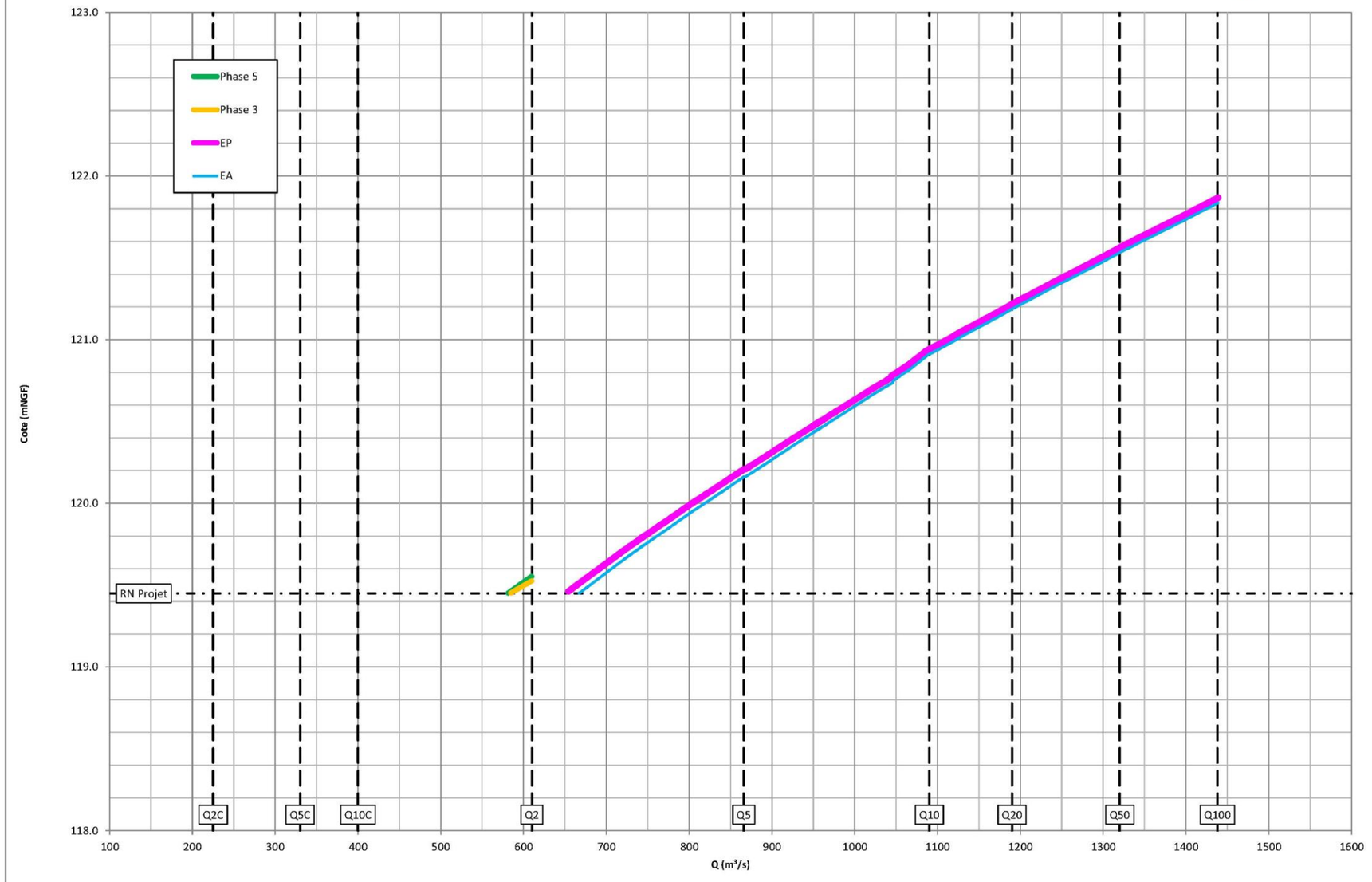


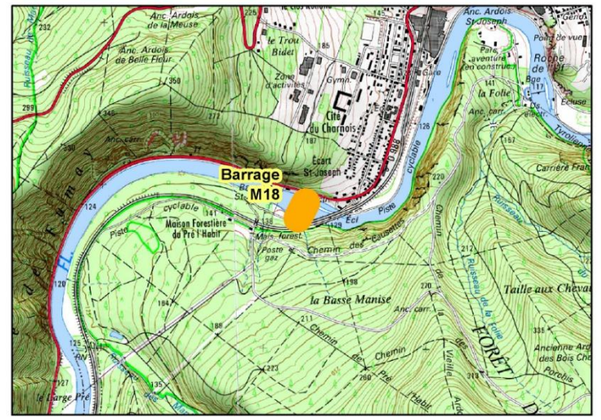
Relation hauteur/débit barrages effacés. M17 amont



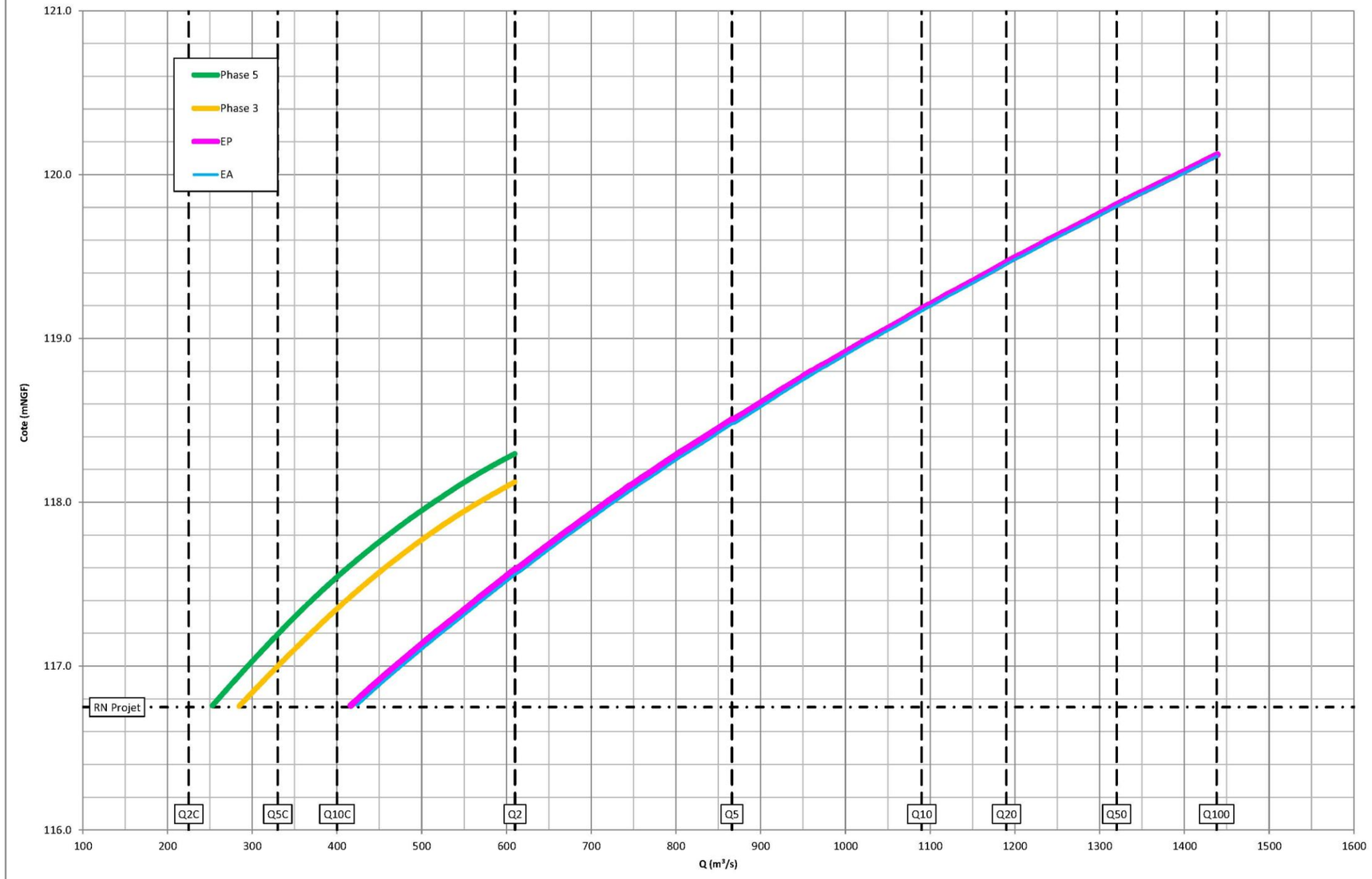


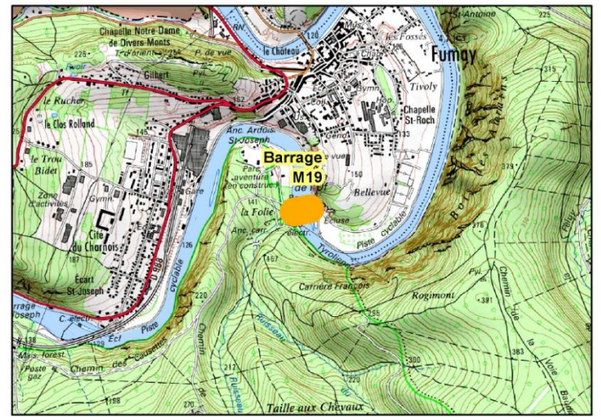
Relation hauteur/débit barrages effacés. M18 amont



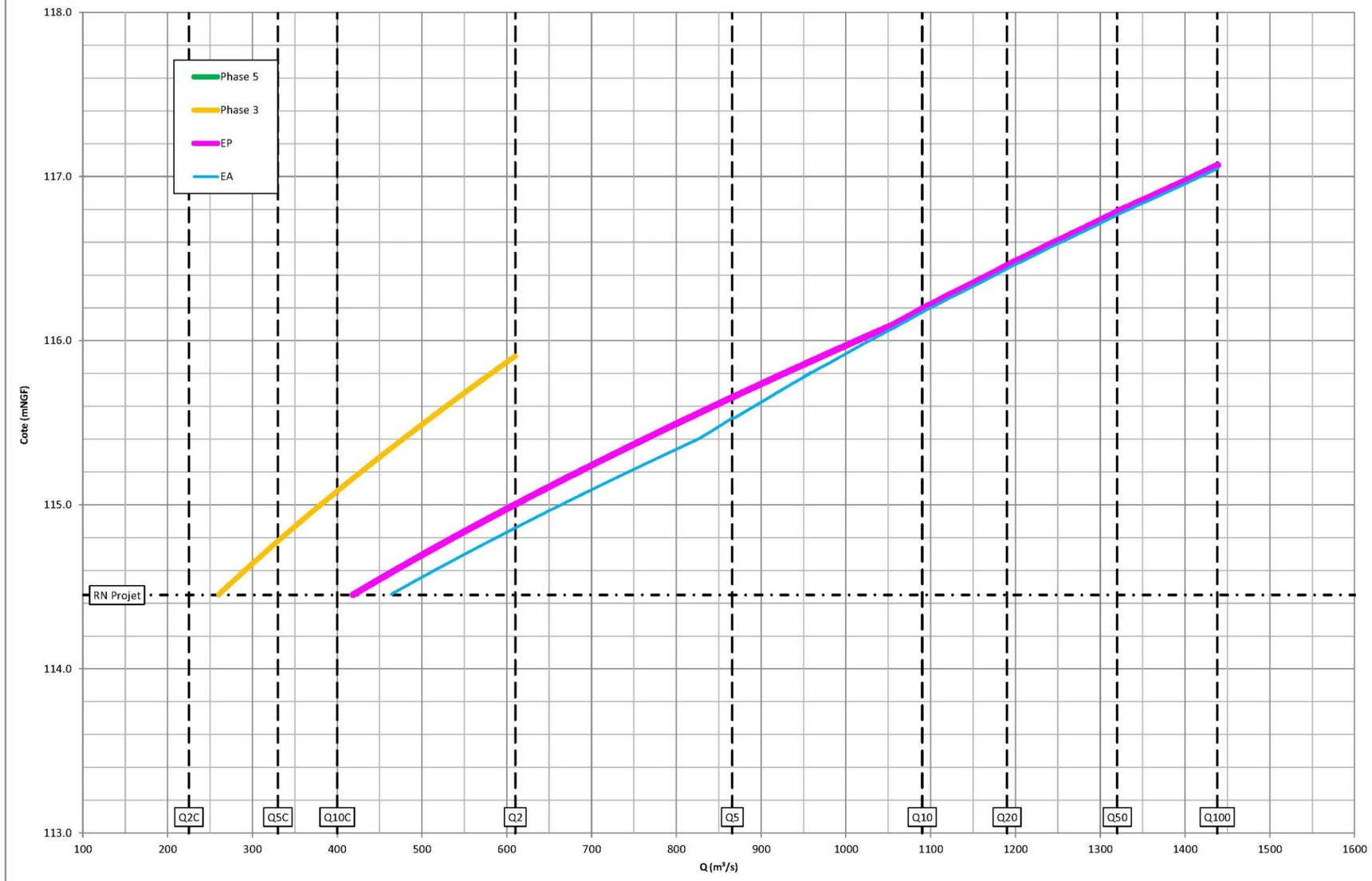


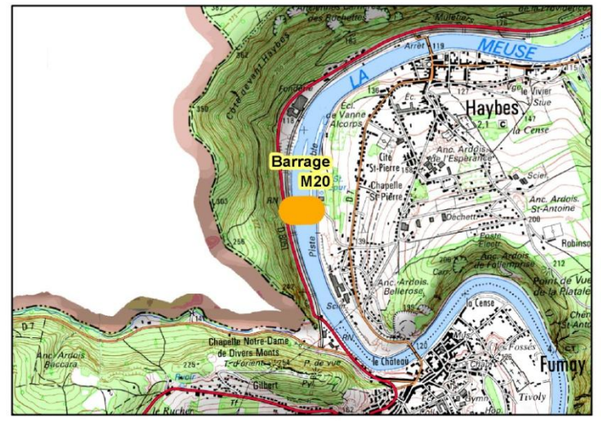
Relation hauteur/débit barrages effacés. M19 amont



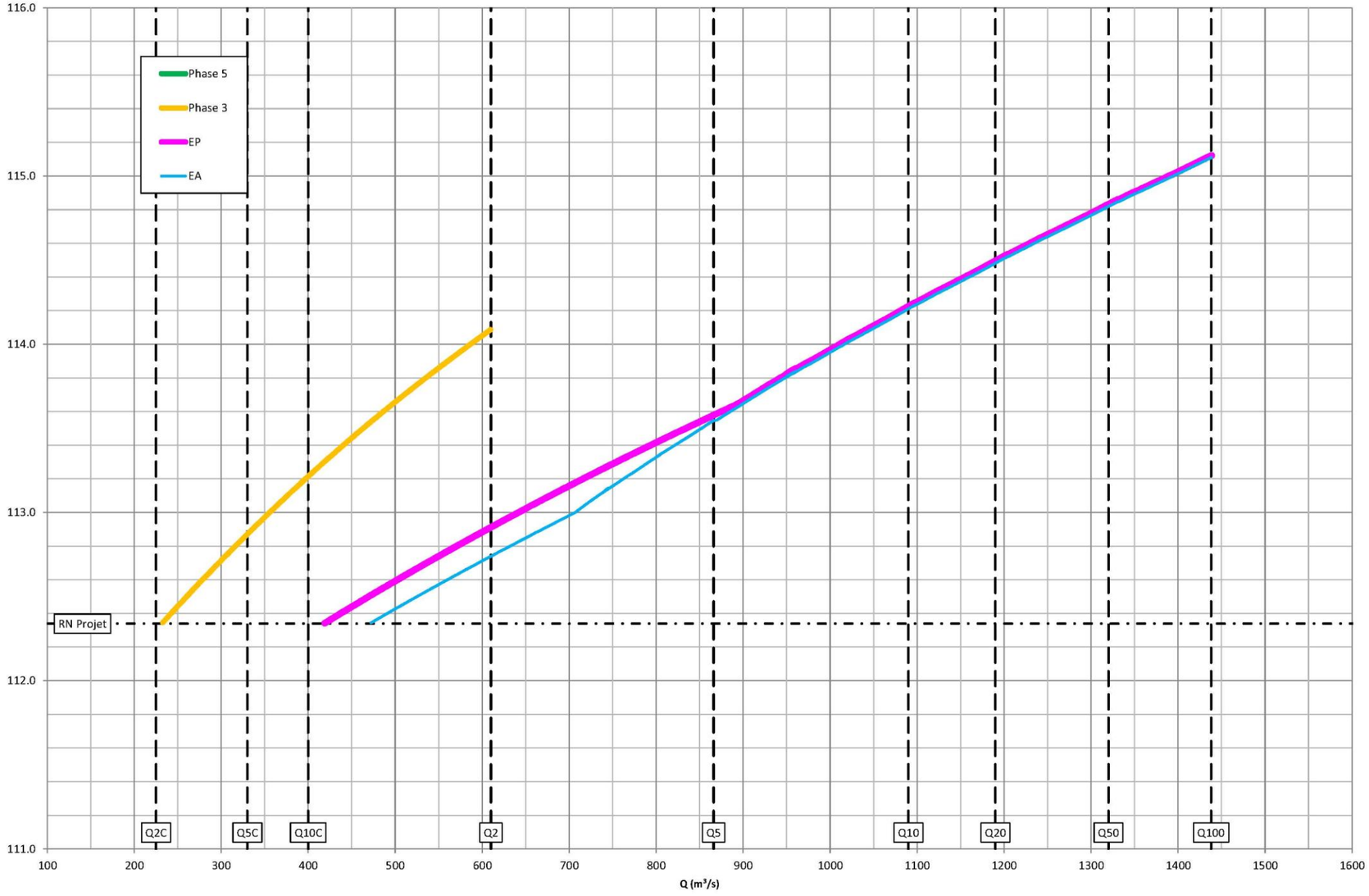


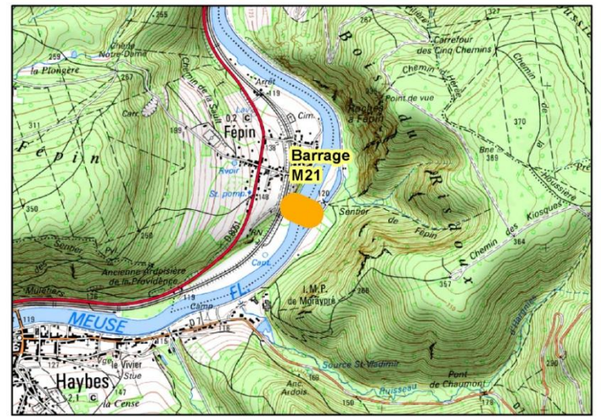
Relation hauteur/débit barrages effacés. M20 amont



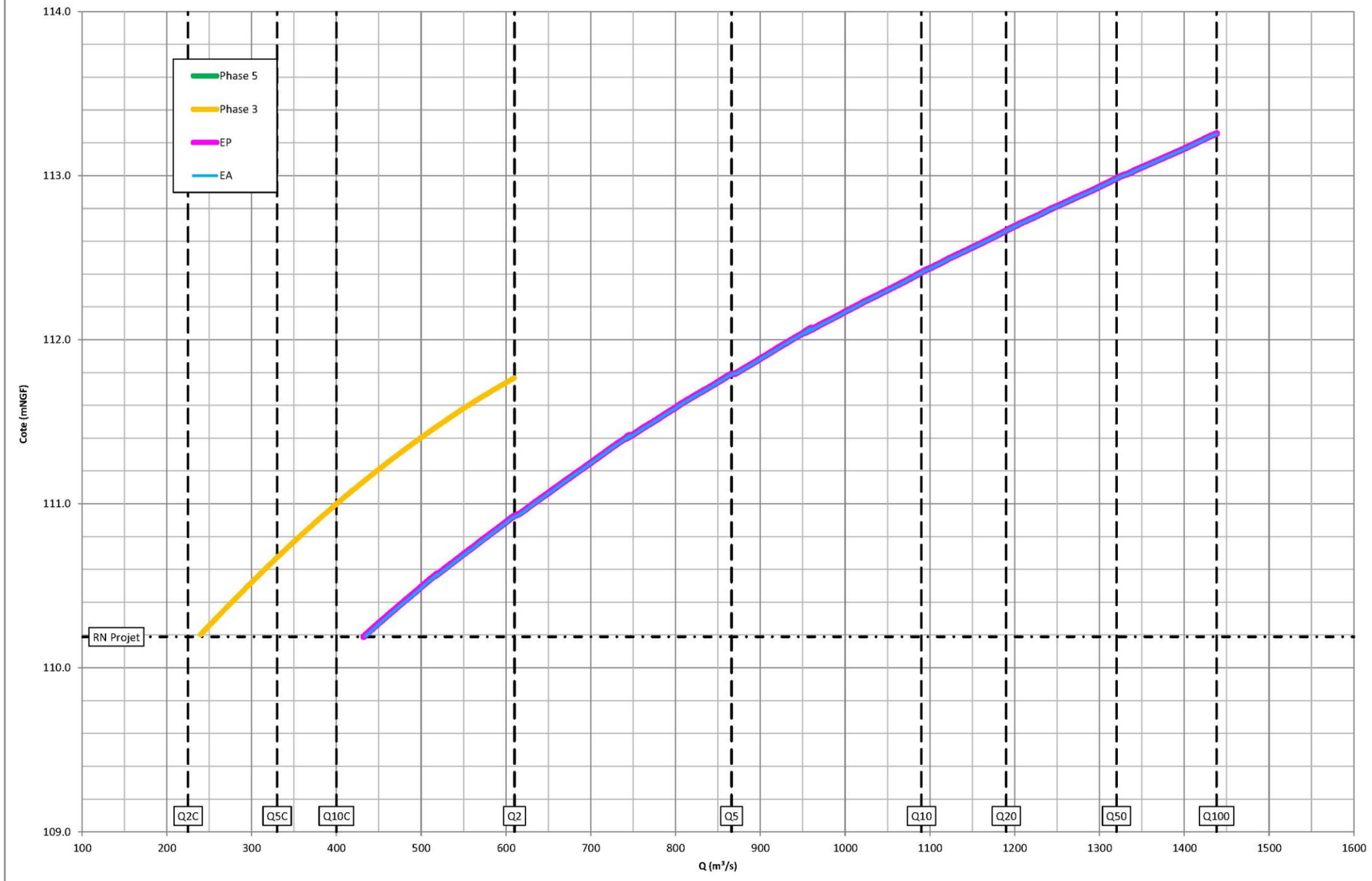


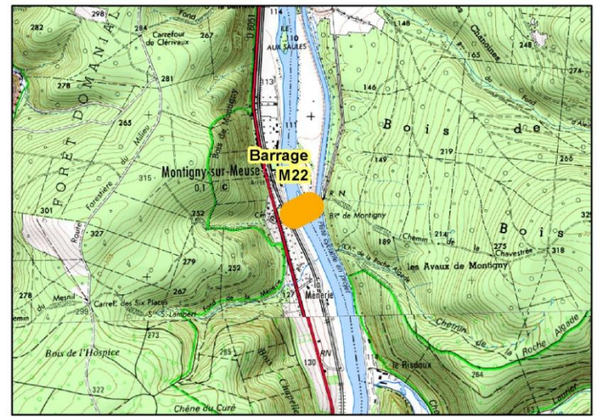
Relation hauteur/débit barrages effacés. M21 amont



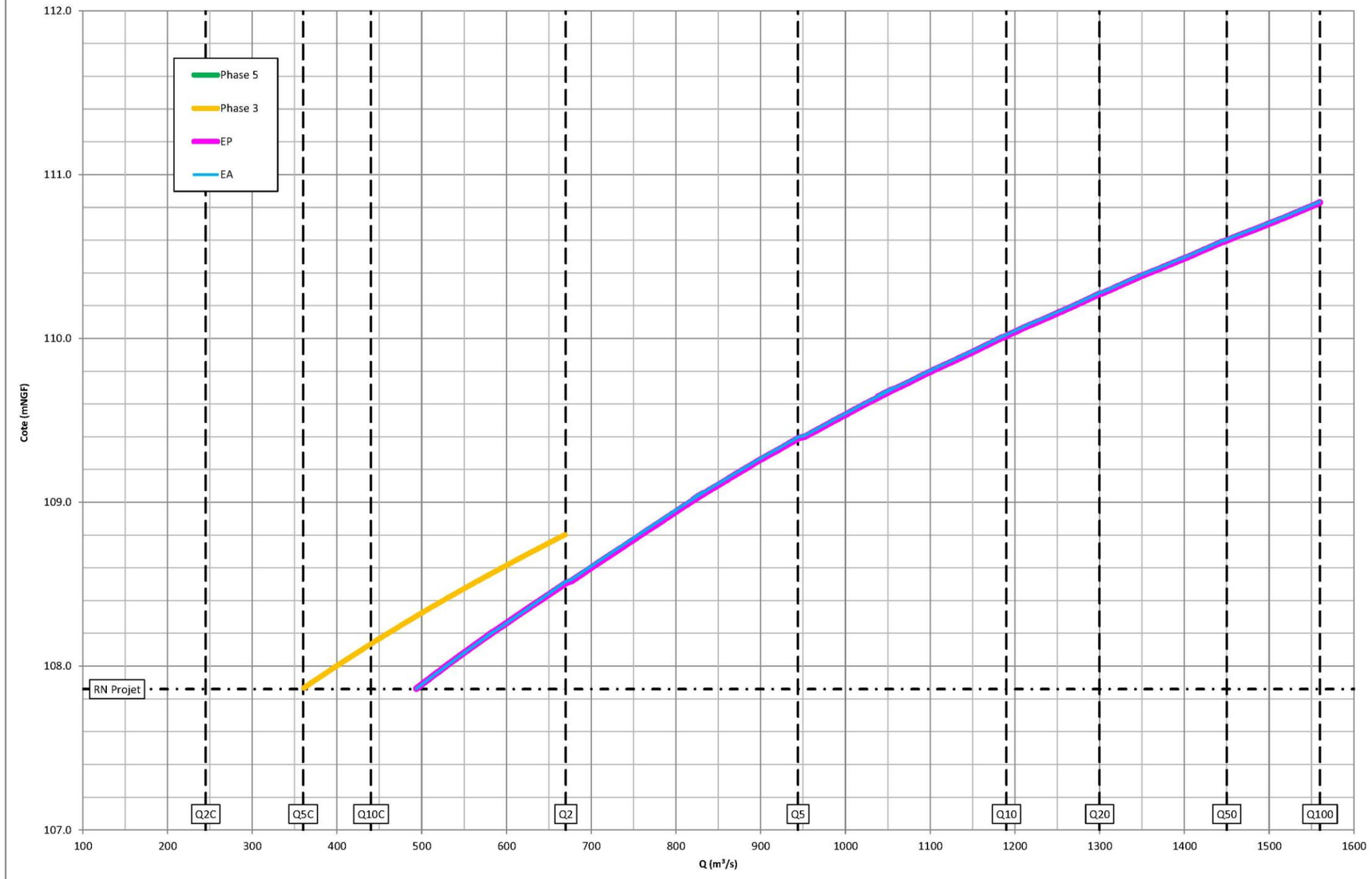


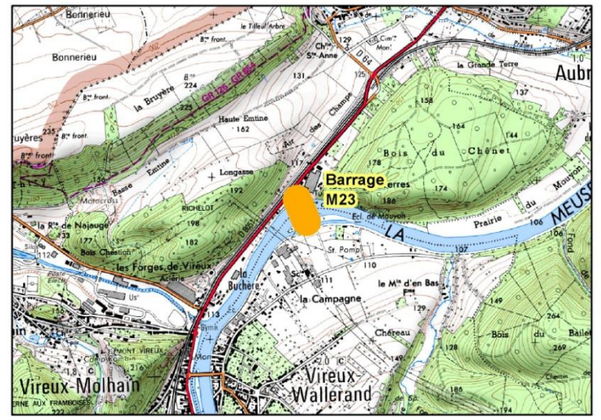
Relation hauteur/débit barrages effacés. M22 amont



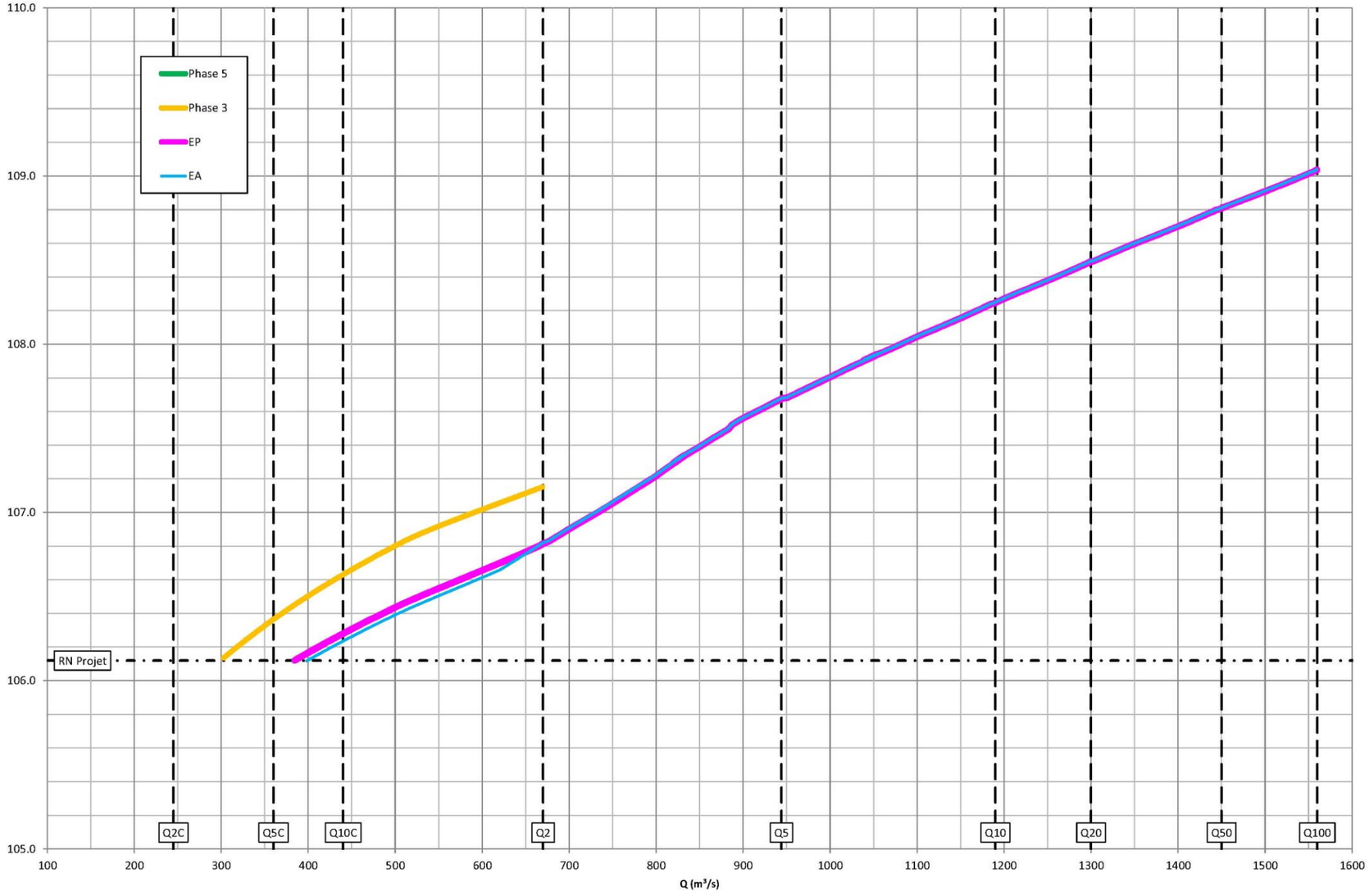


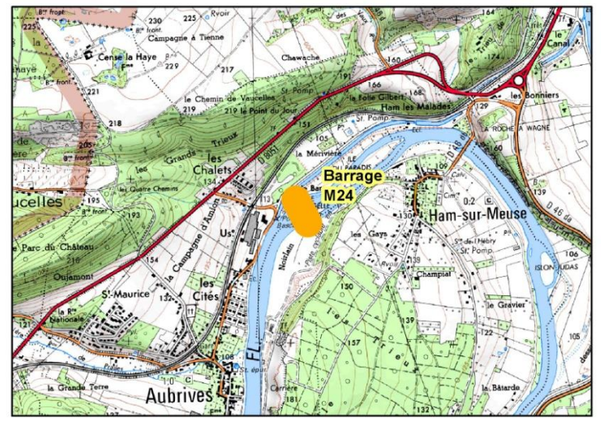
Relation hauteur/débit barrages effacés. M23 amont



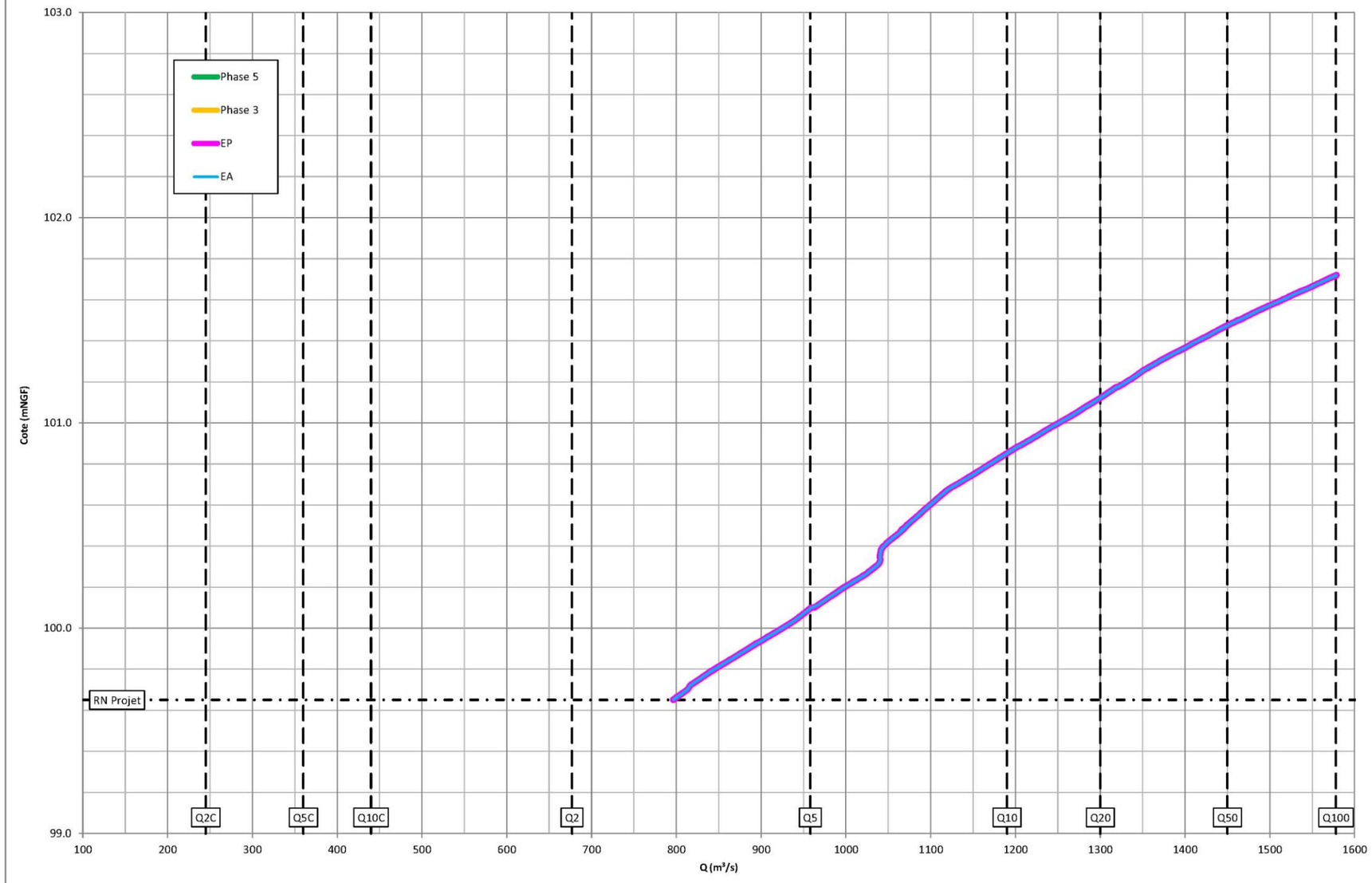


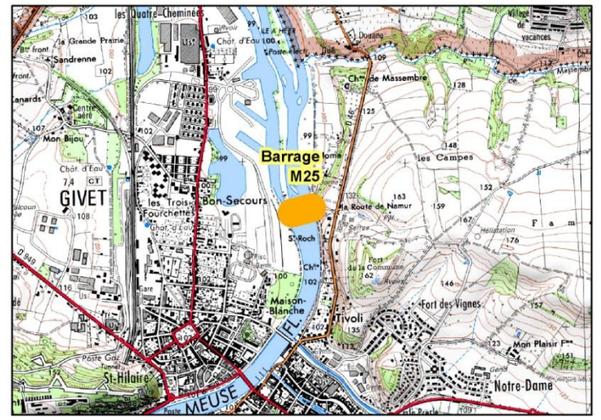
Relation hauteur/débit barrages effacés. M24 amont





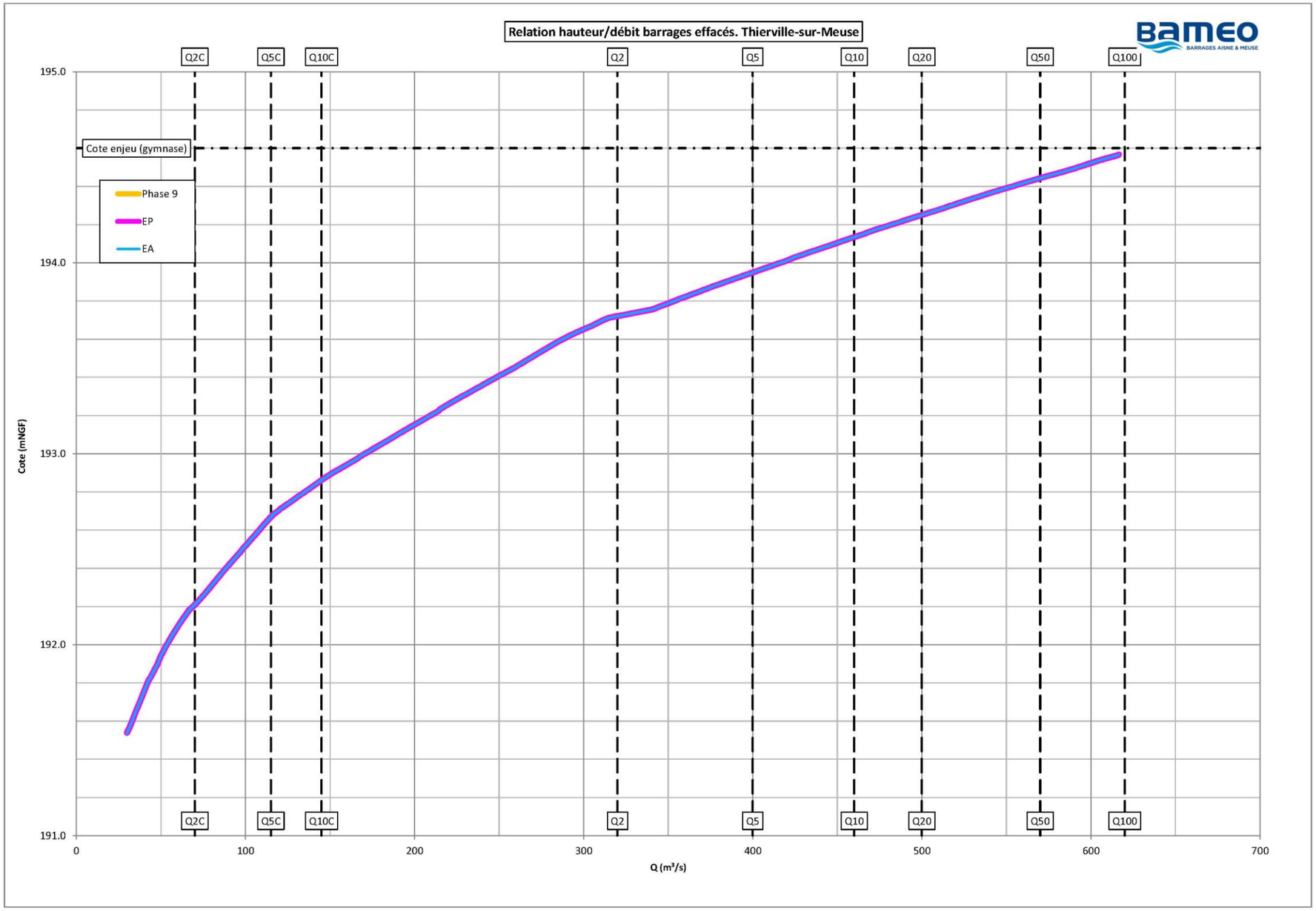
Relation hauteur/débit barrages effacés. M25 amont

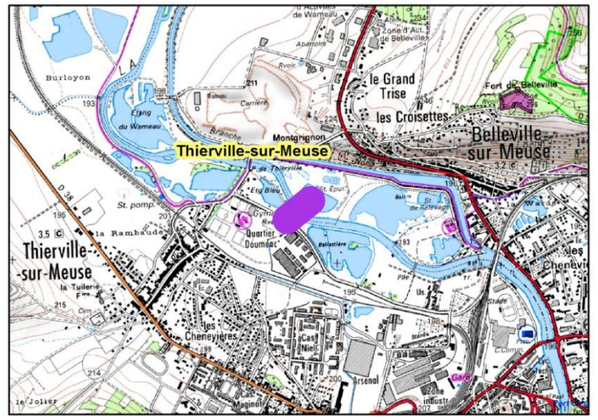


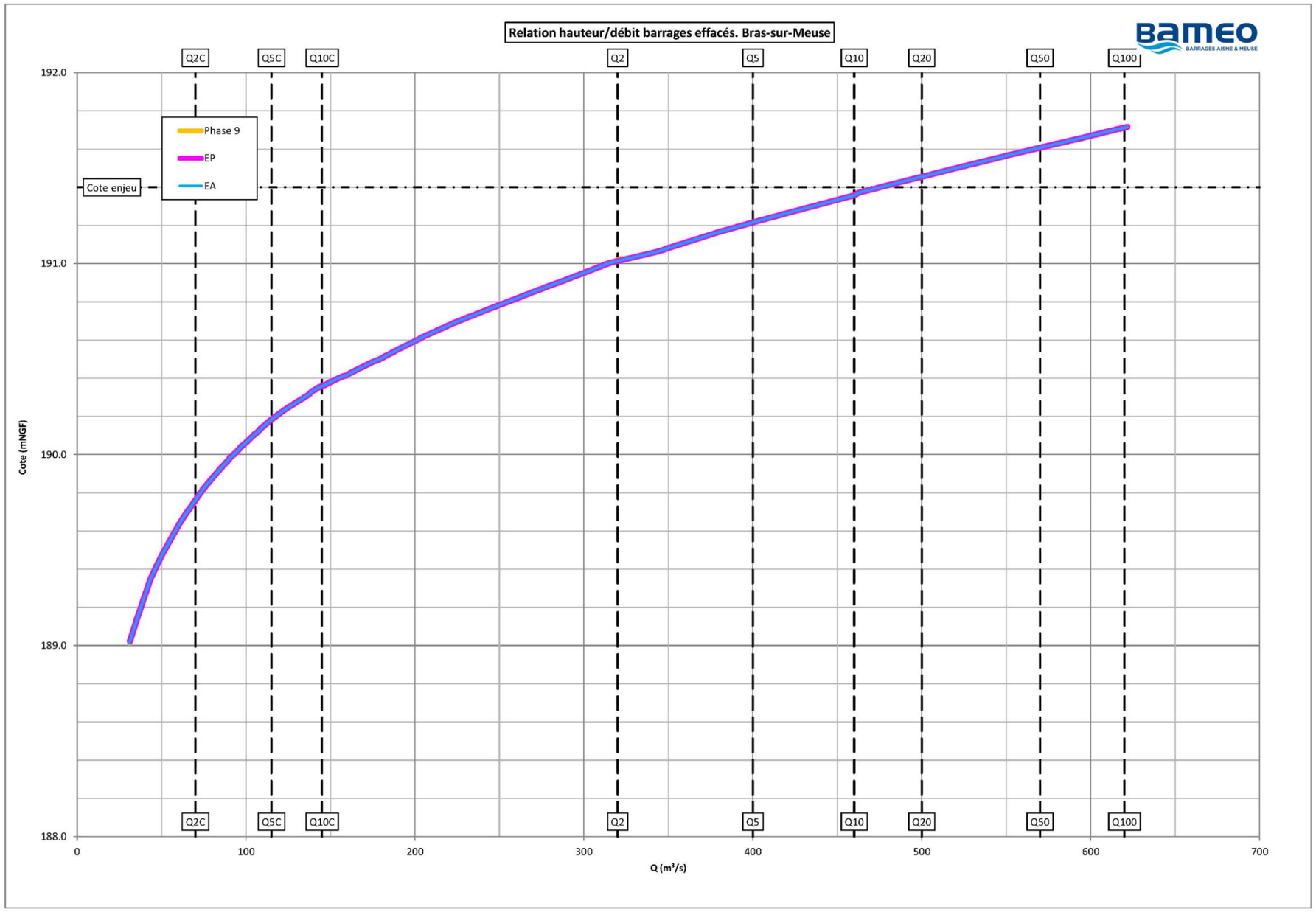


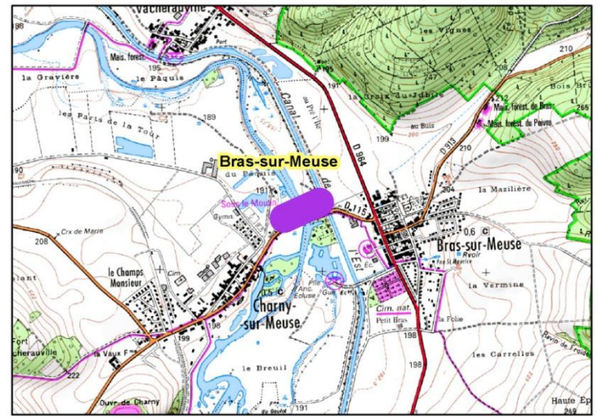
4.7. ANNEXE 7 : RELATIONS DEBIT / COTE AU DROIT DES PRINCIPALES ZONES A ENJEUX URBAINS (PROJET AVP)

Relation hauteur/débit barrages effacés. Thierville-sur-Meuse

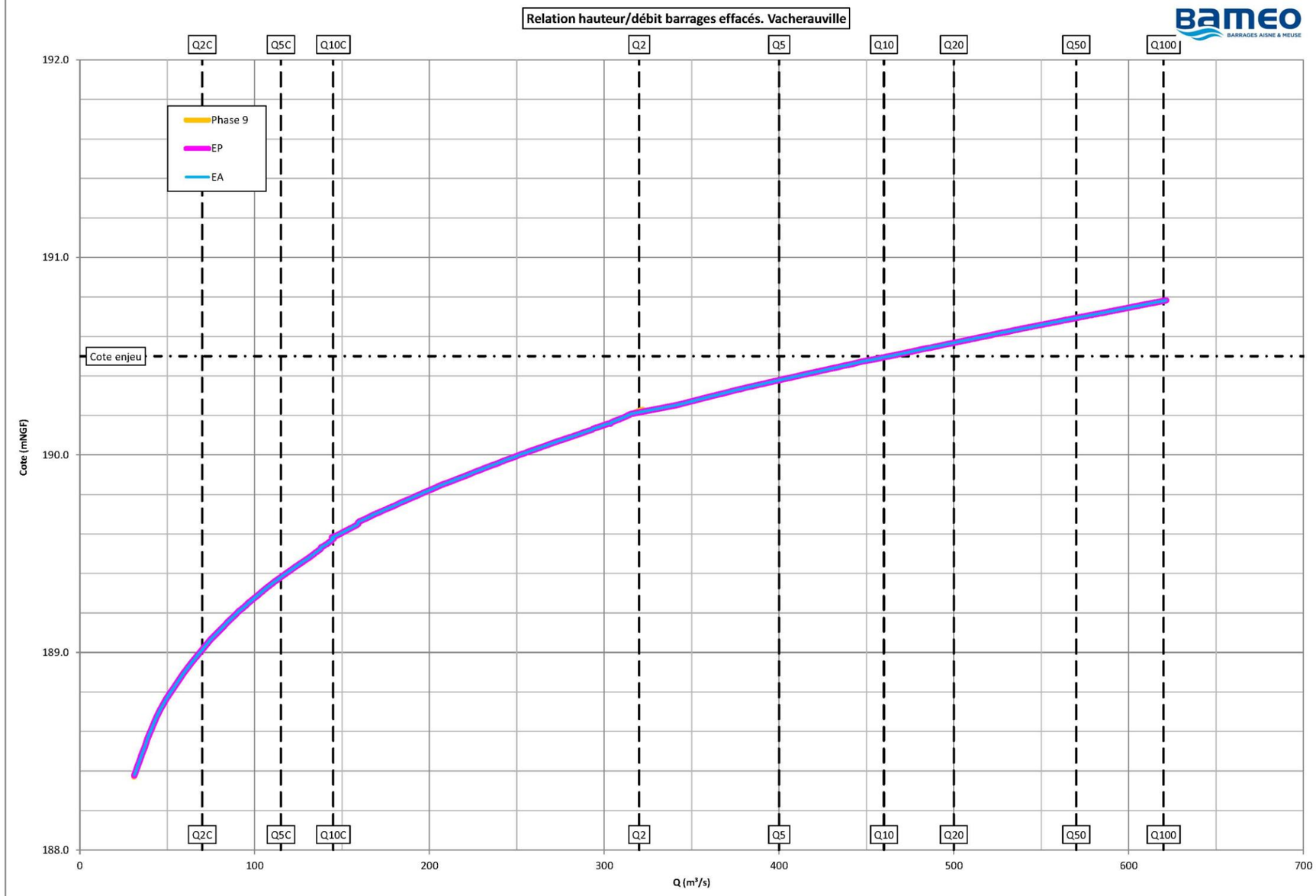


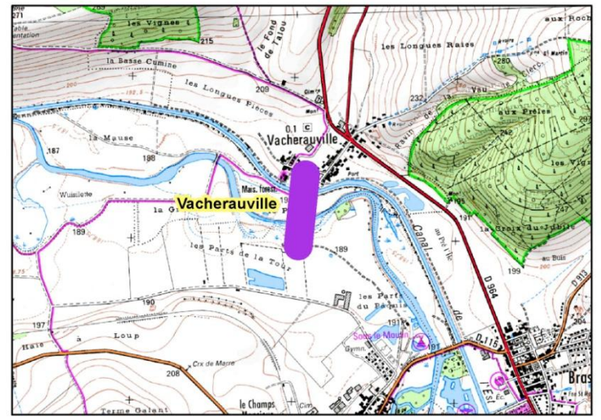



Relation hauteur/débit barrages effacés. Bras-sur-Meuse
BAMEO
BARRAGES AISNE & MEUSE
Q2C
Q5C
Q10C
Q2
Q5
Q10
Q20
Q50
Q100
Phase 9
EP
EA
Cote enjeu
Cote (mNGF)
192.0
191.0
190.0
189.0
188.0
0
100
200
300
400
500
600
700
Q (m³/s)

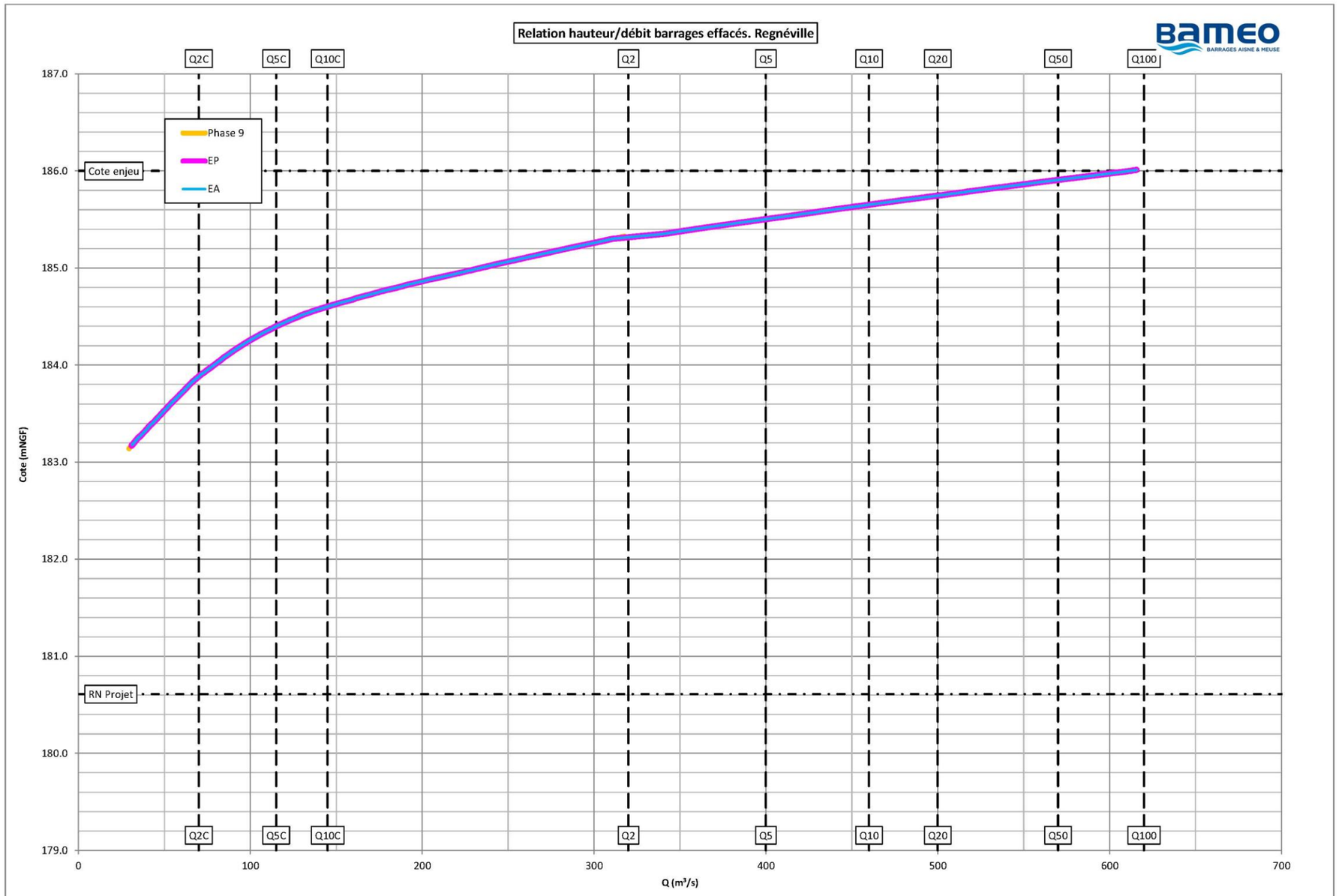

Bras-sur-Meuse
Charny-sur-Meuse
le Champs Monsieur
la Gravière
le Paquis
la Maxilière
la Vermine
les Carreaux
le Breuil

Relation hauteur/débit barrages effacés. Vacherauville

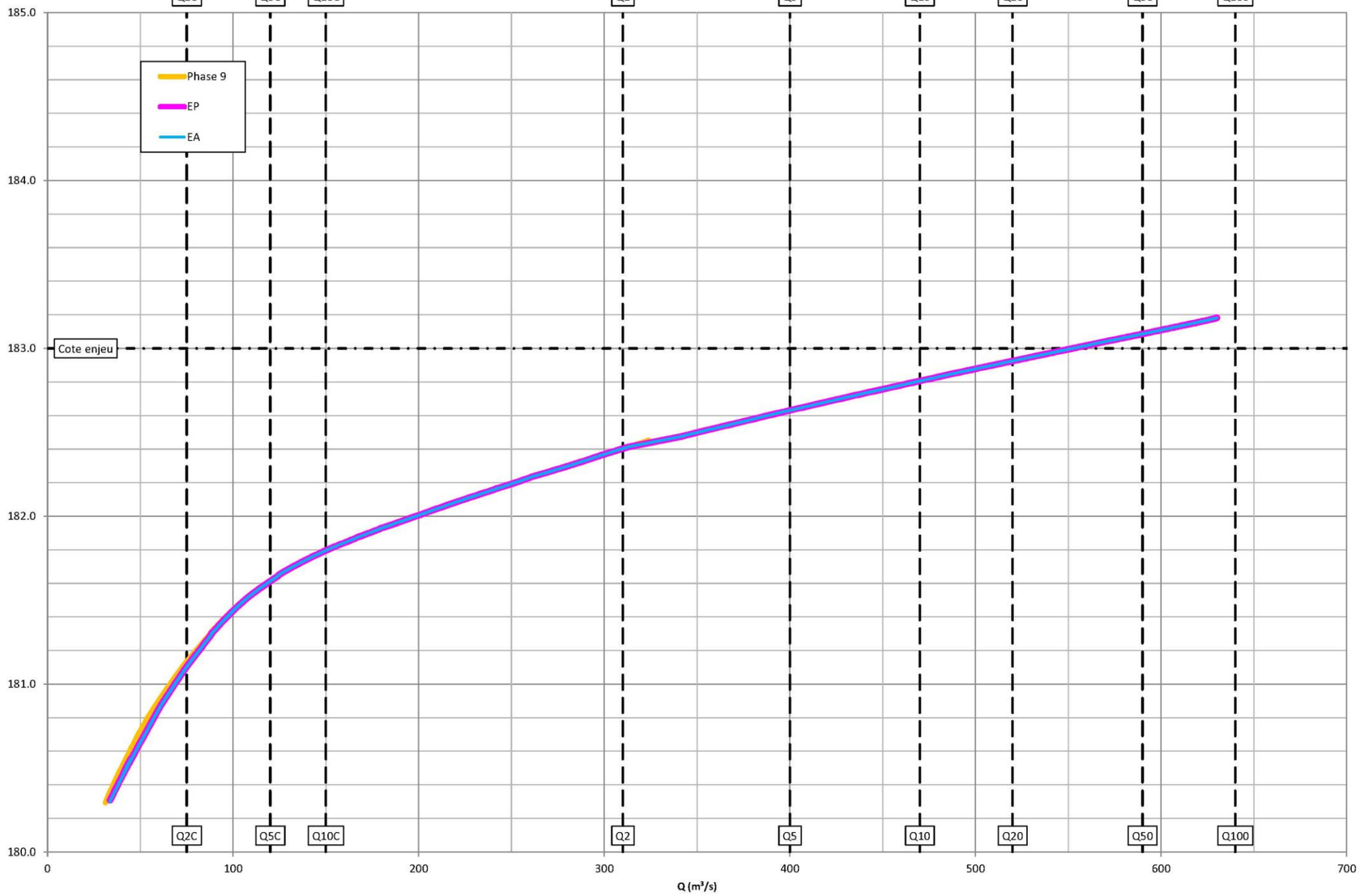


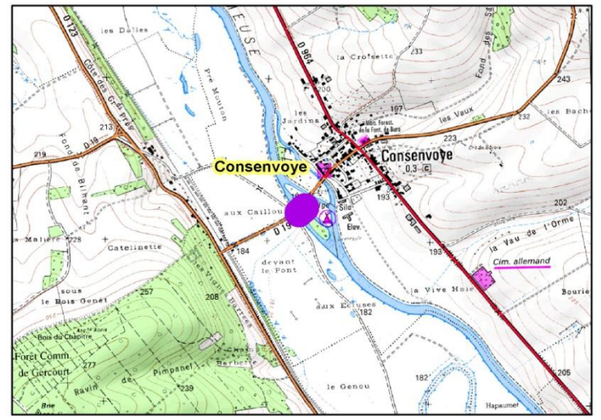


Relation hauteur/débit barrages effacés. Regnéville

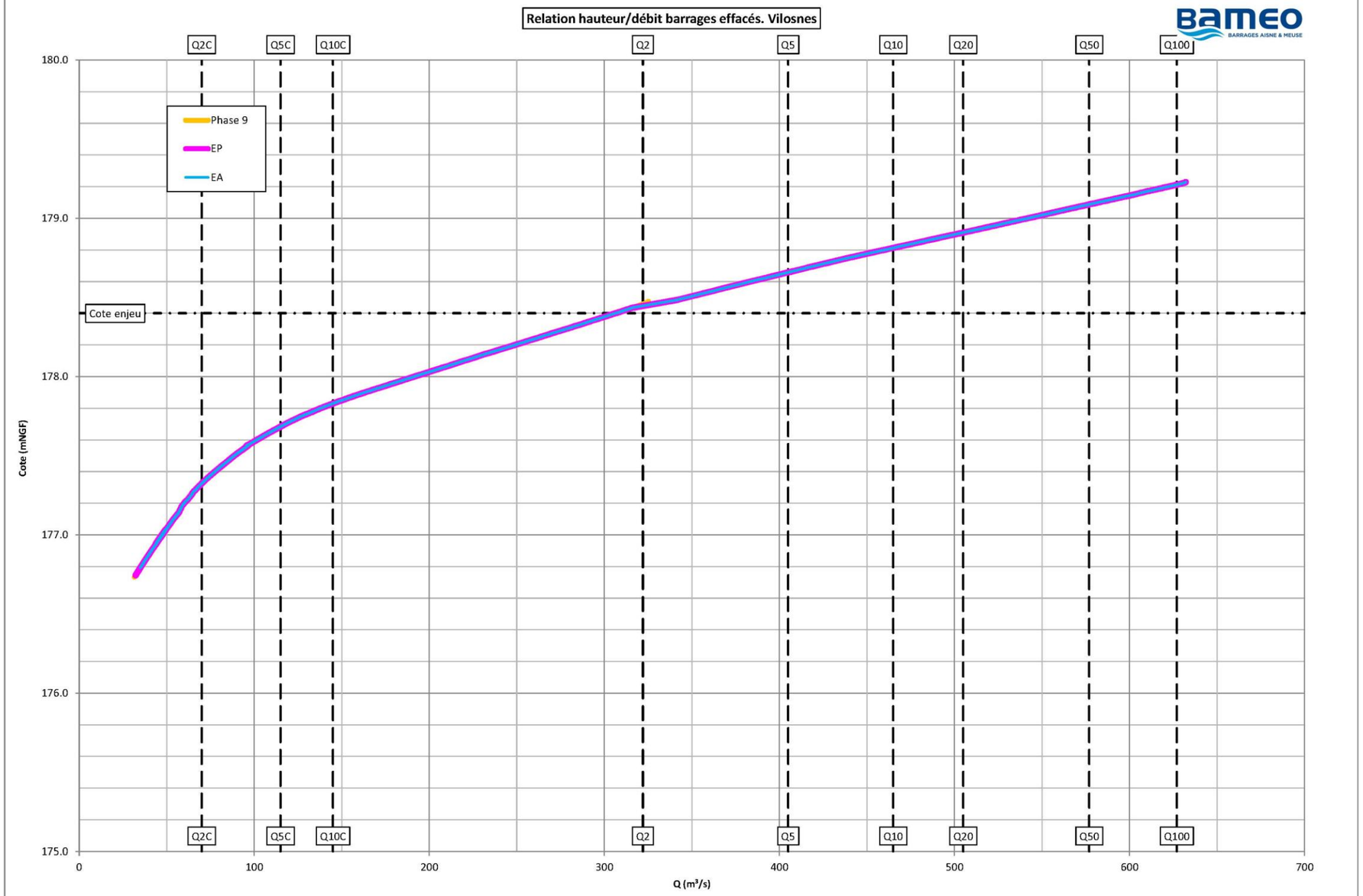


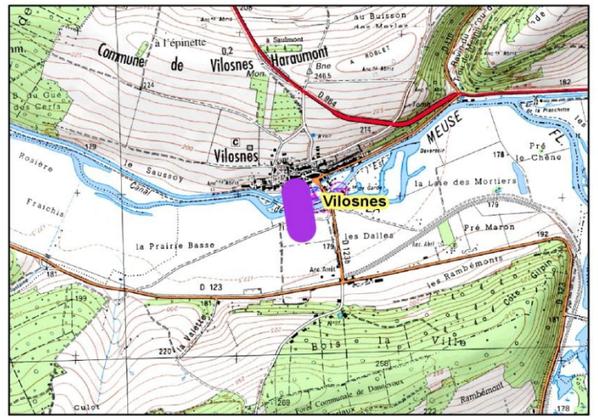
Relation hauteur/débit barrages effacés. Consenvoye



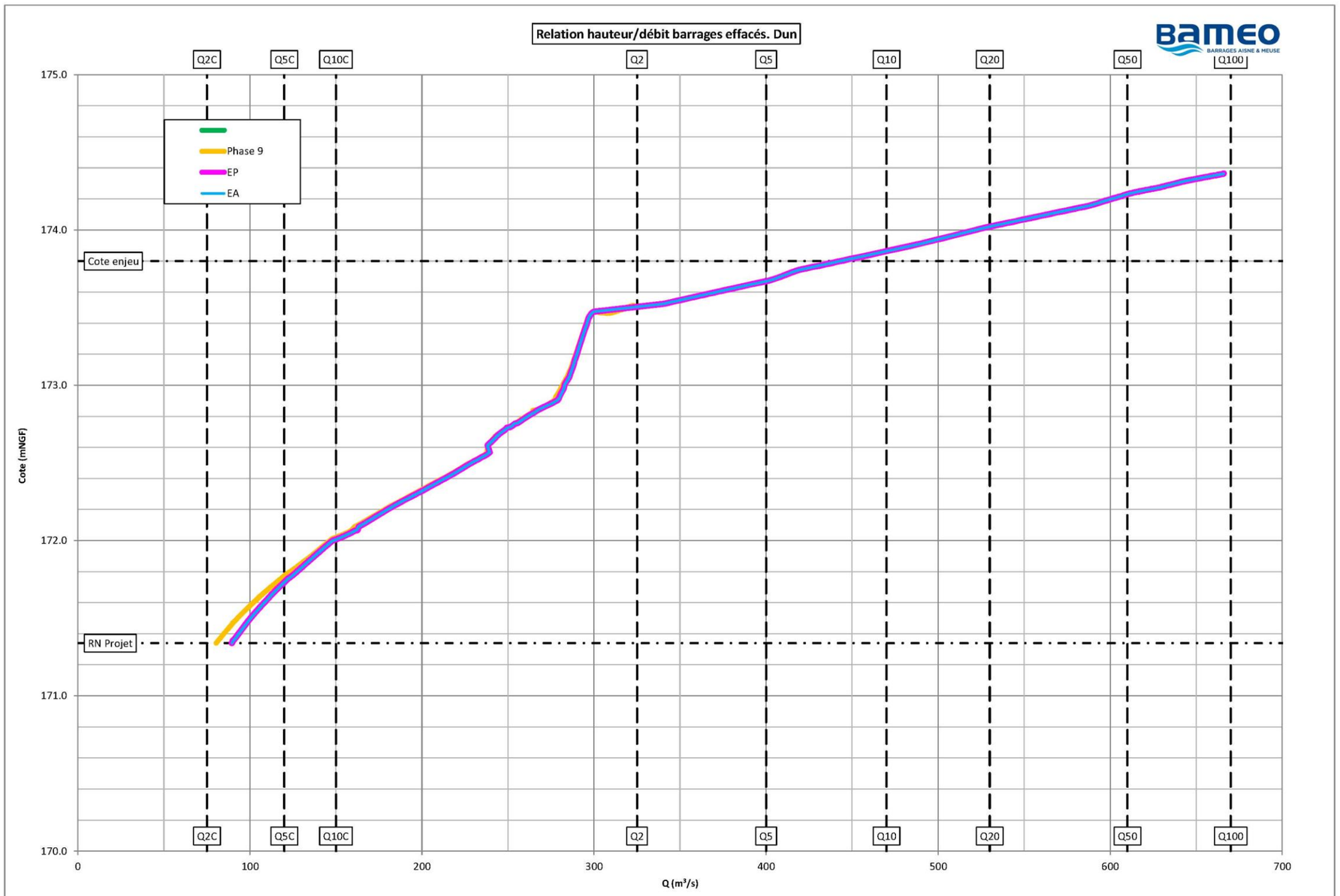


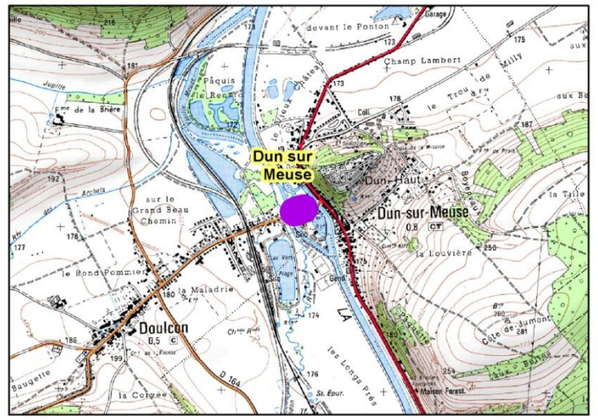
Relation hauteur/débit barrages effacés. Vilosnes



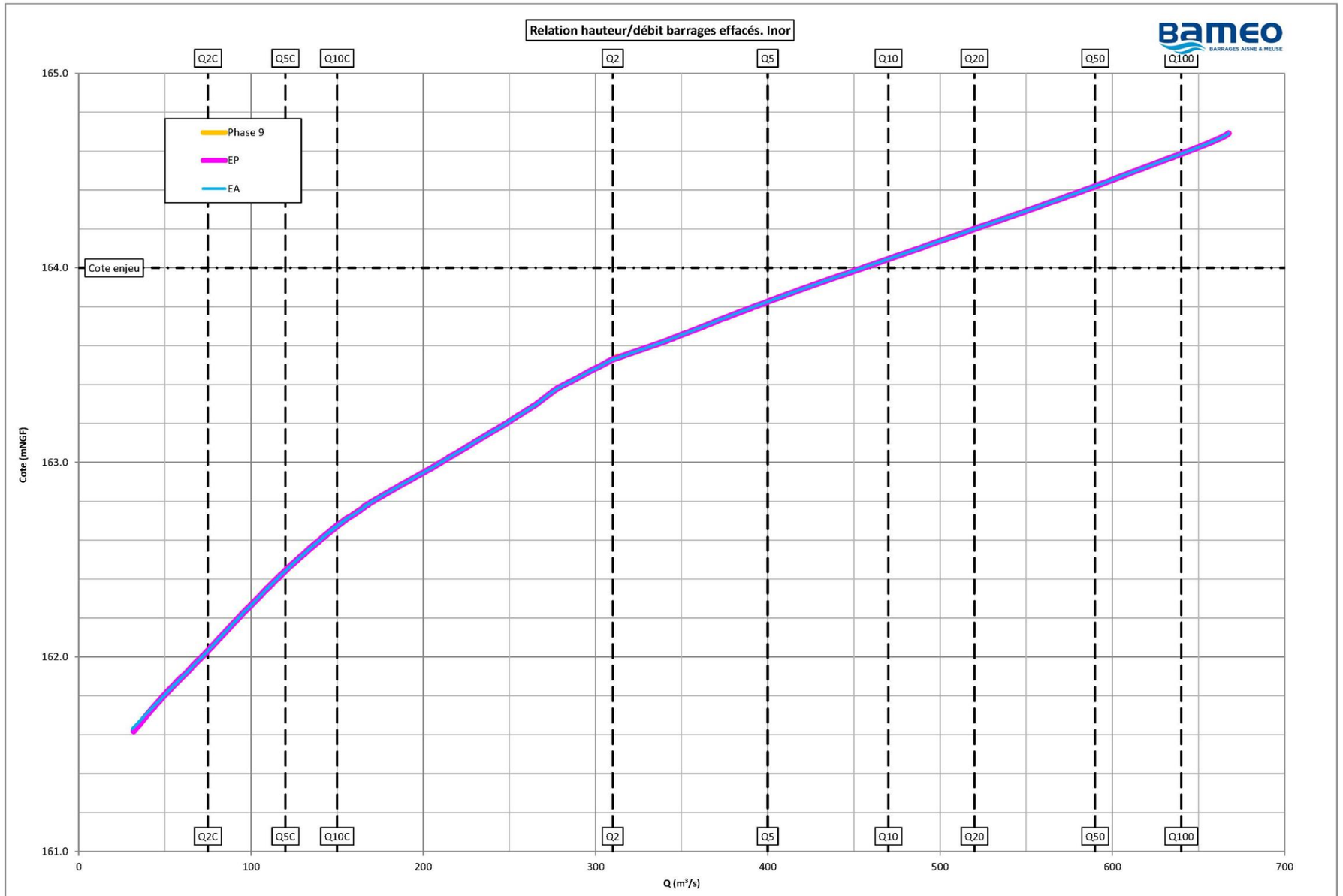


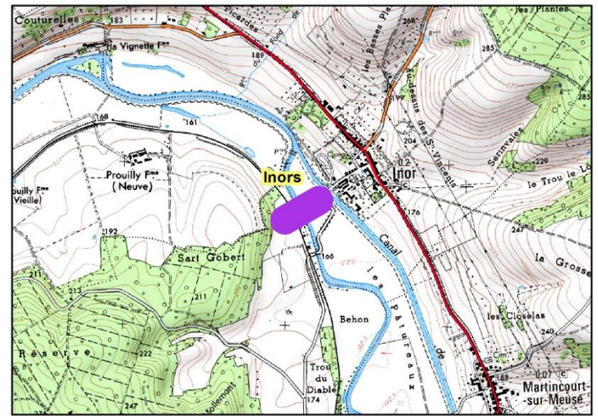
Relation hauteur/débit barrages effacés. Dun



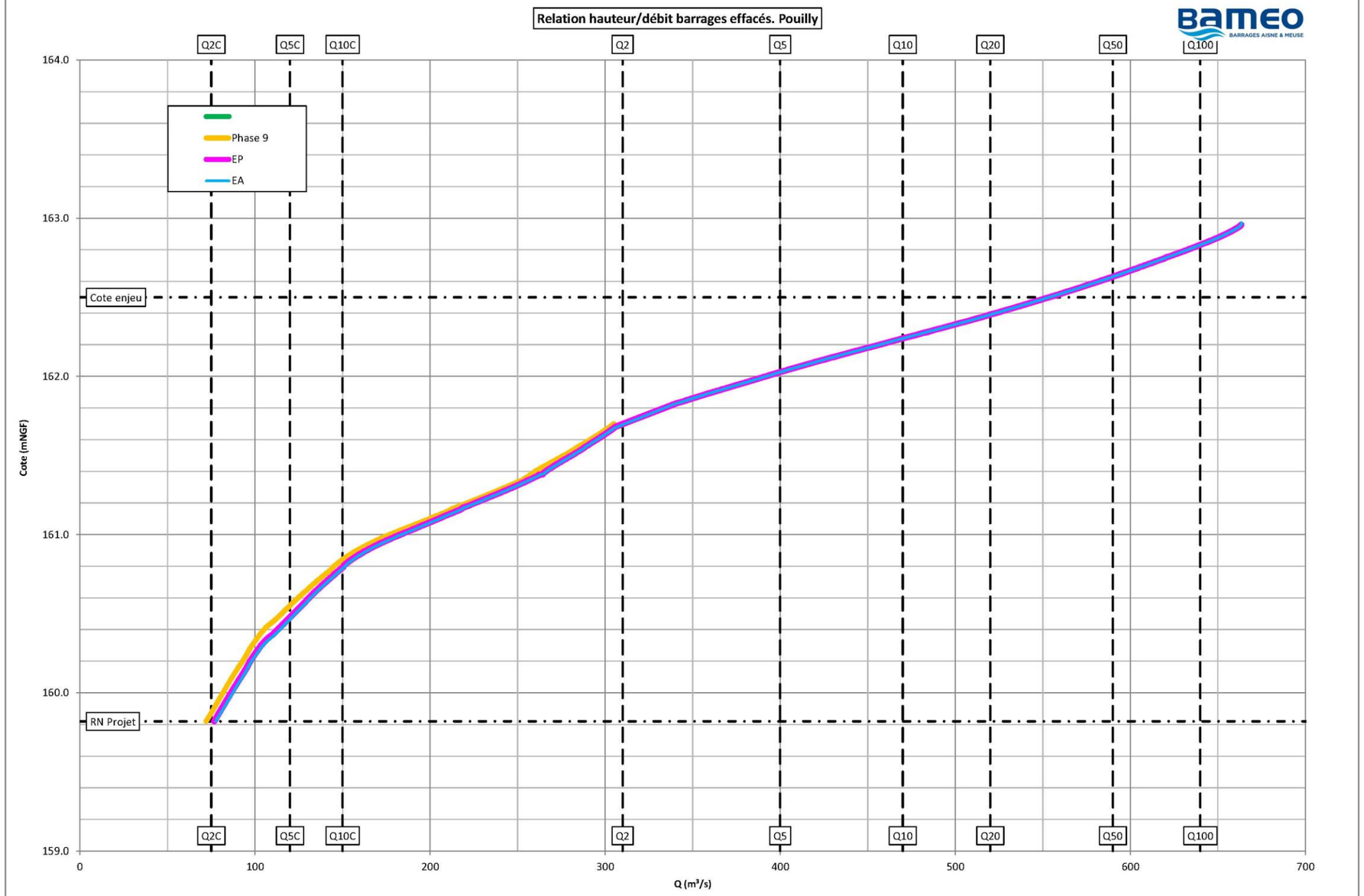


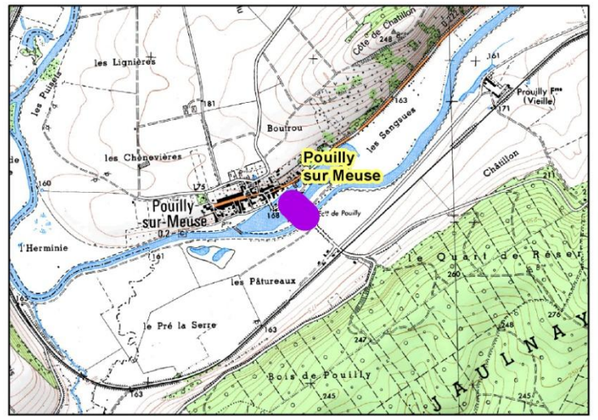
Relation hauteur/débit barrages effacés. Inor



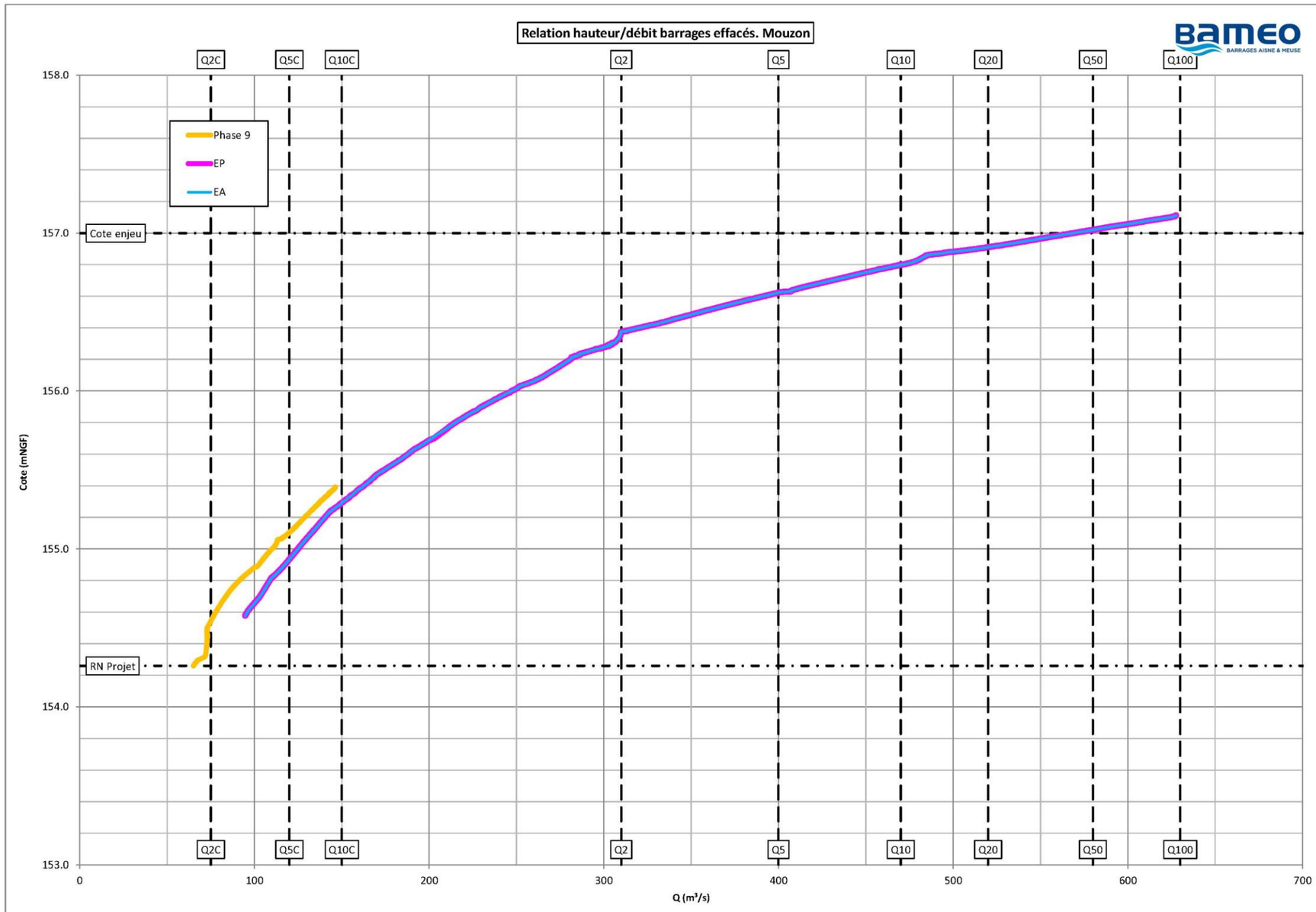


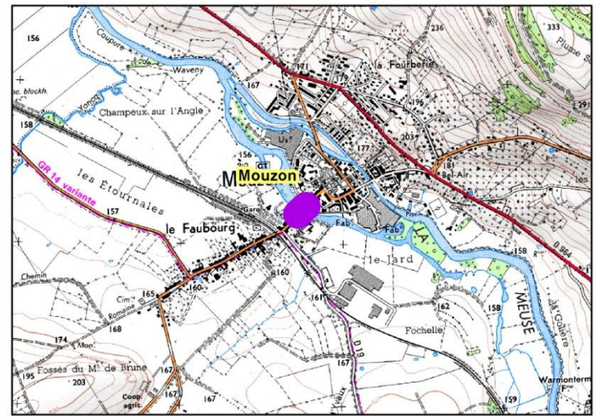
Relation hauteur/débit barrages effacés. Pouilly



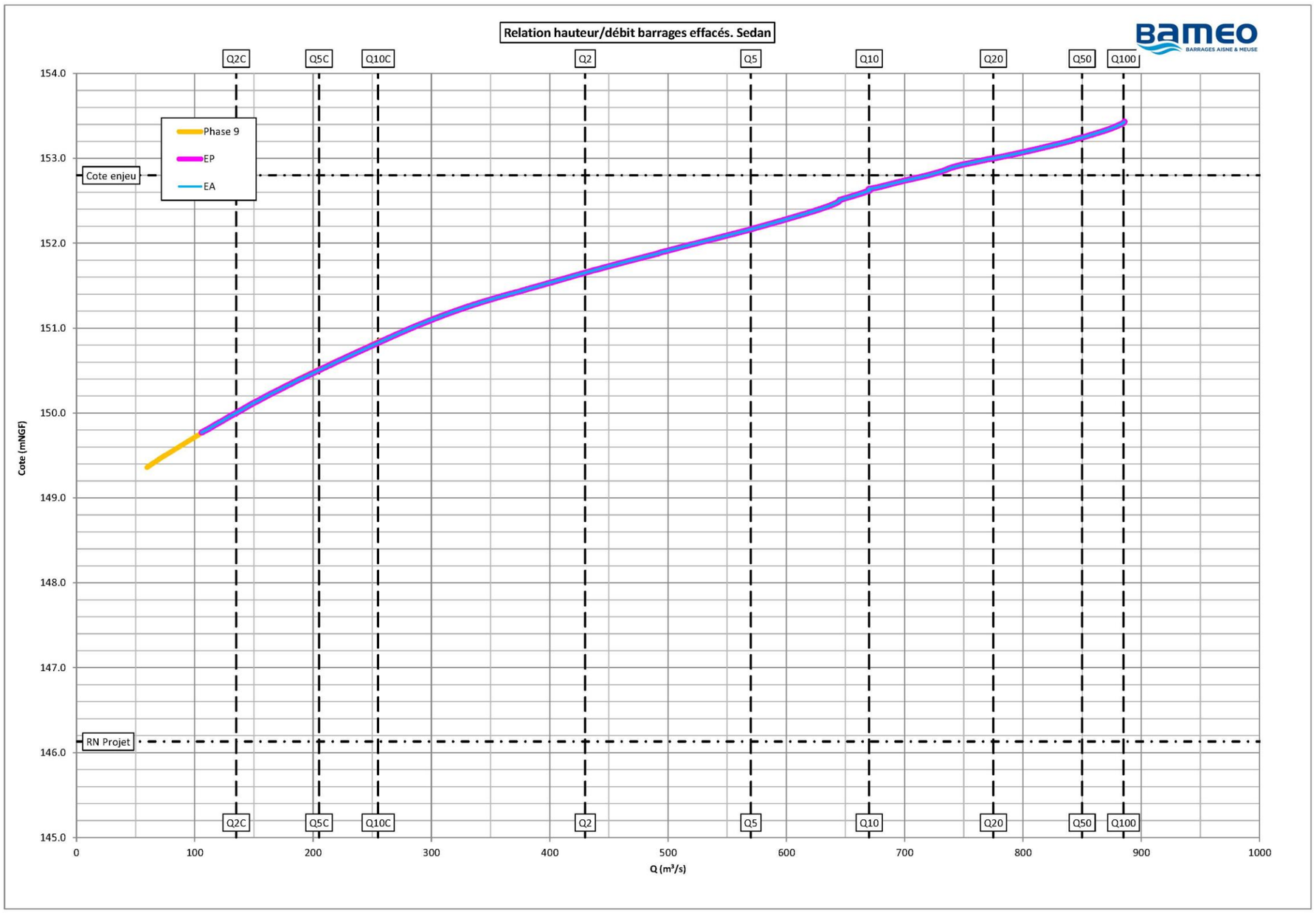


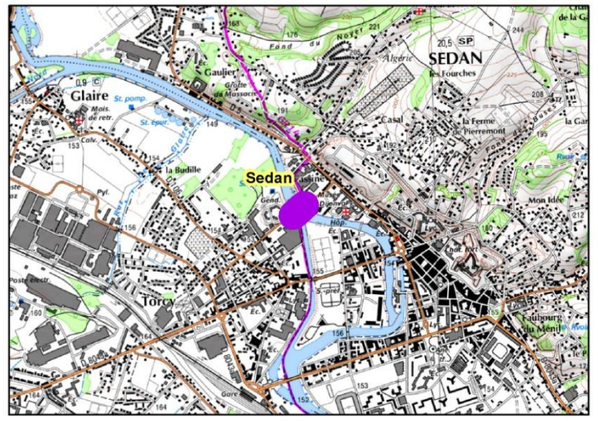
Relation hauteur/débit barrages effacés. Mouzon



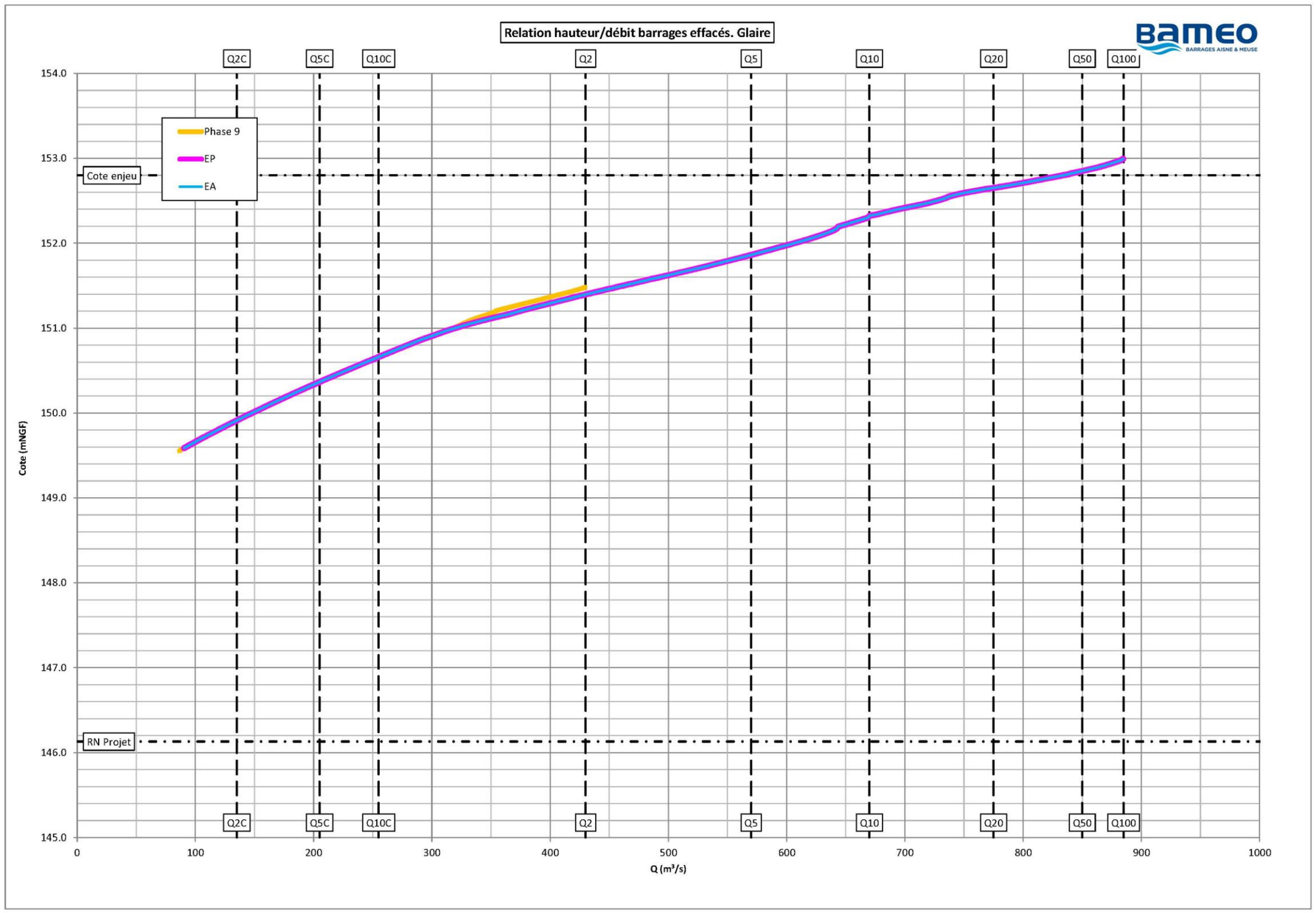


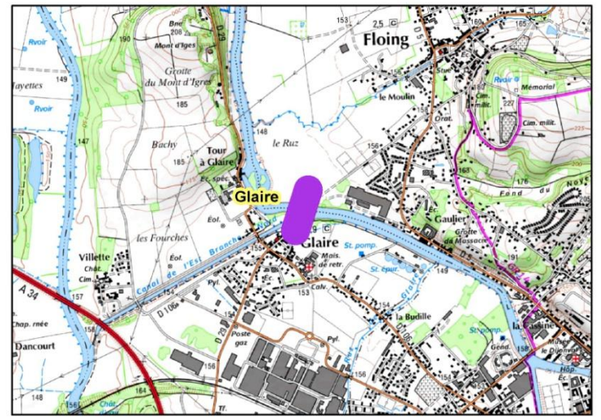
Relation hauteur/débit barrages effacés. Sedan



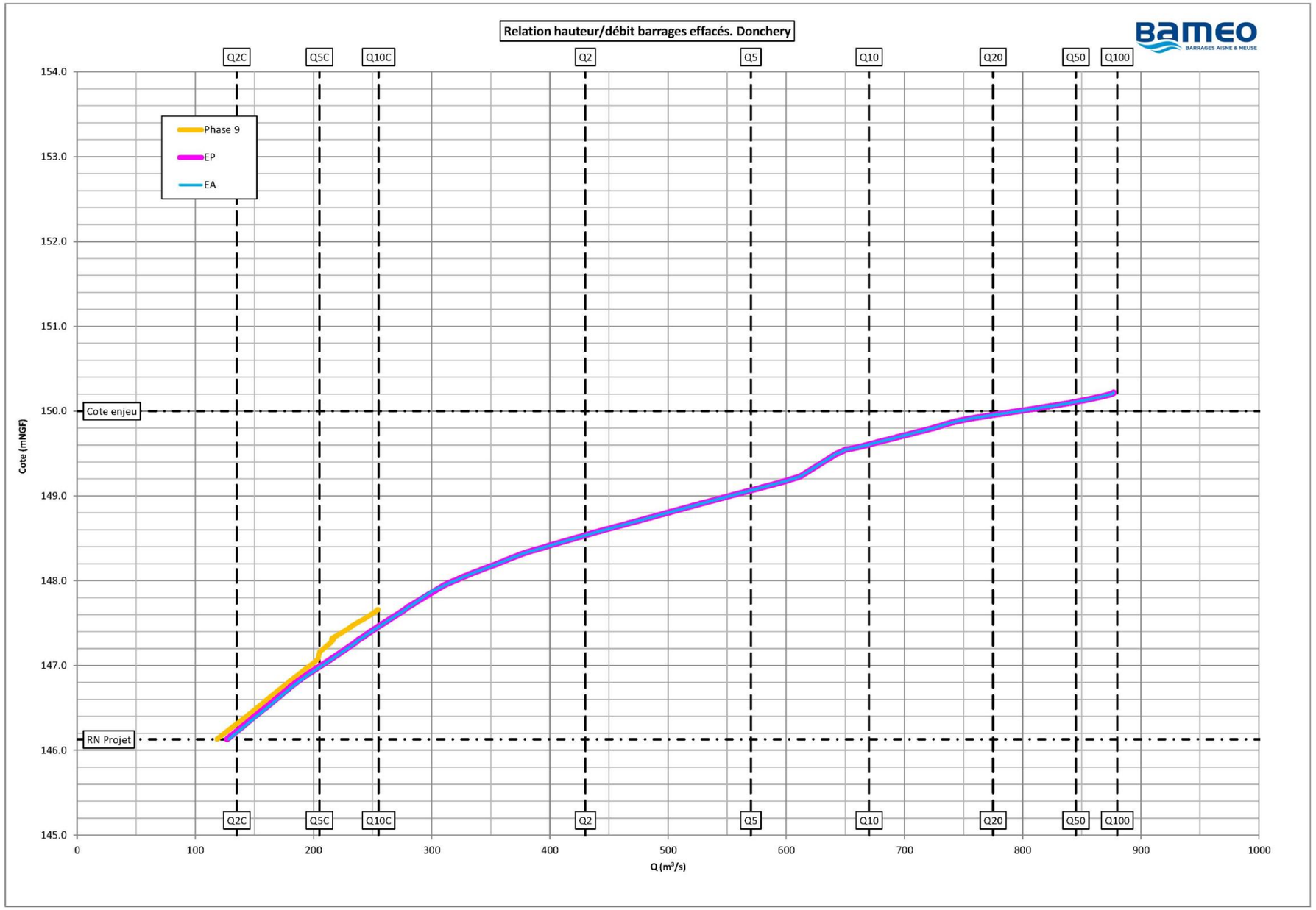


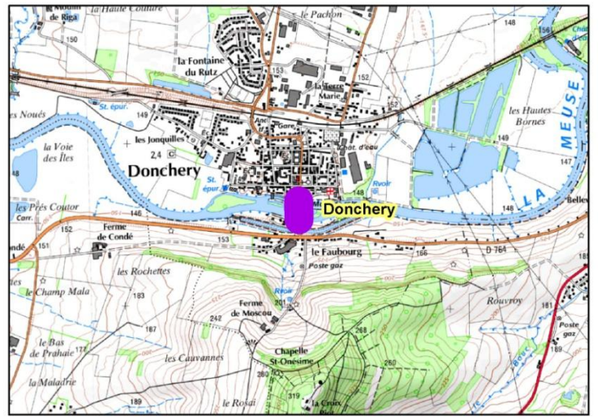
Relation hauteur/débit barrages effacés. Glaire



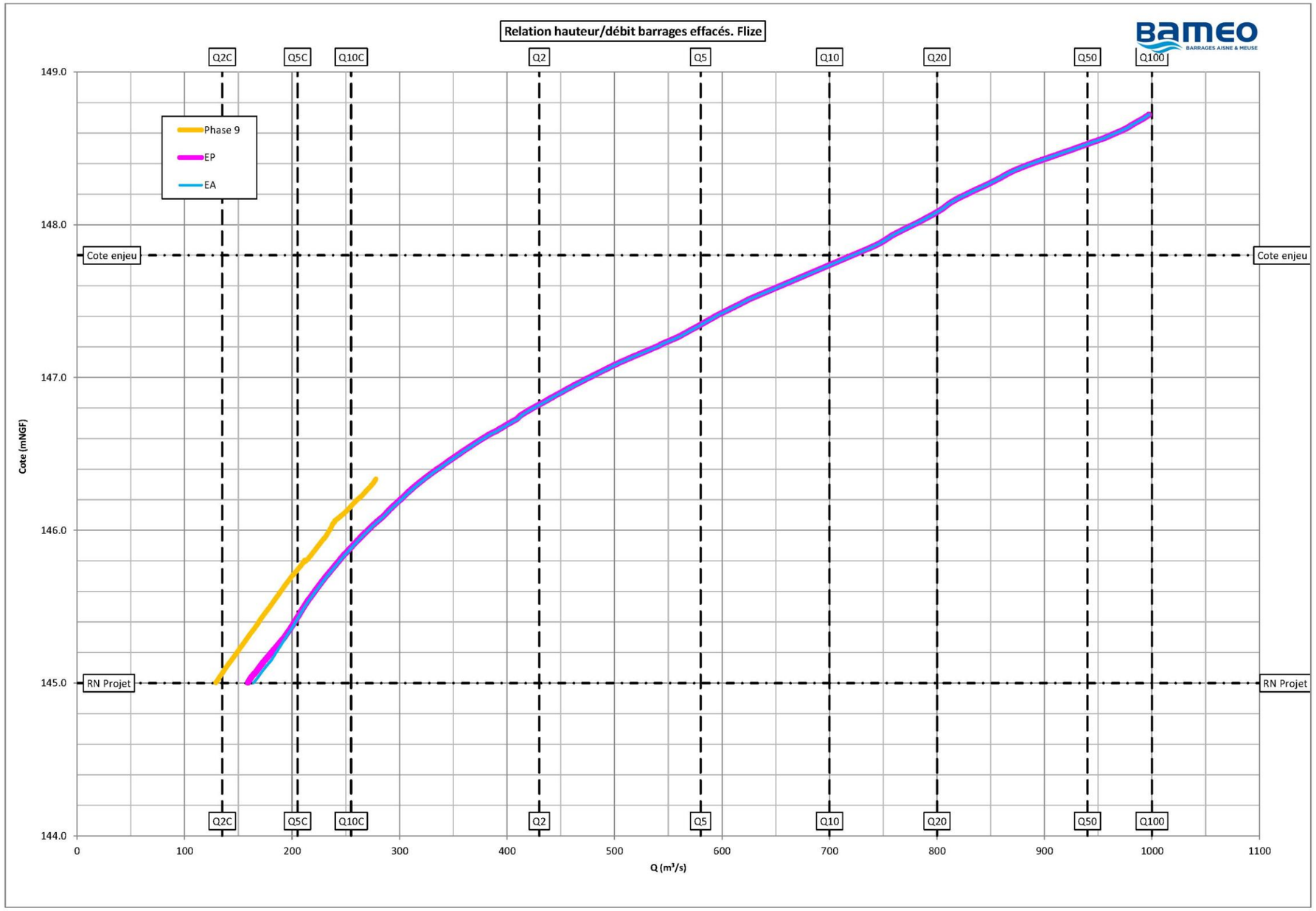


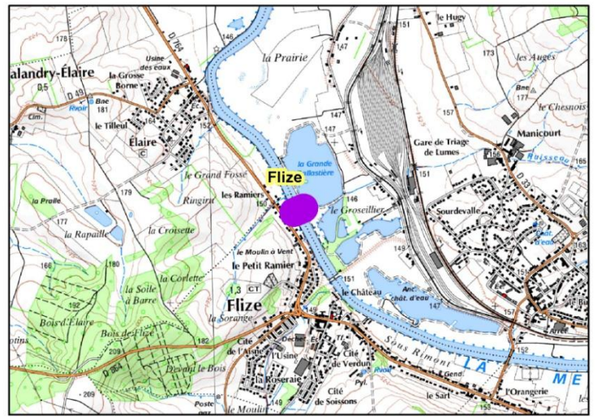
Relation hauteur/débit barrages effacés. Donchery



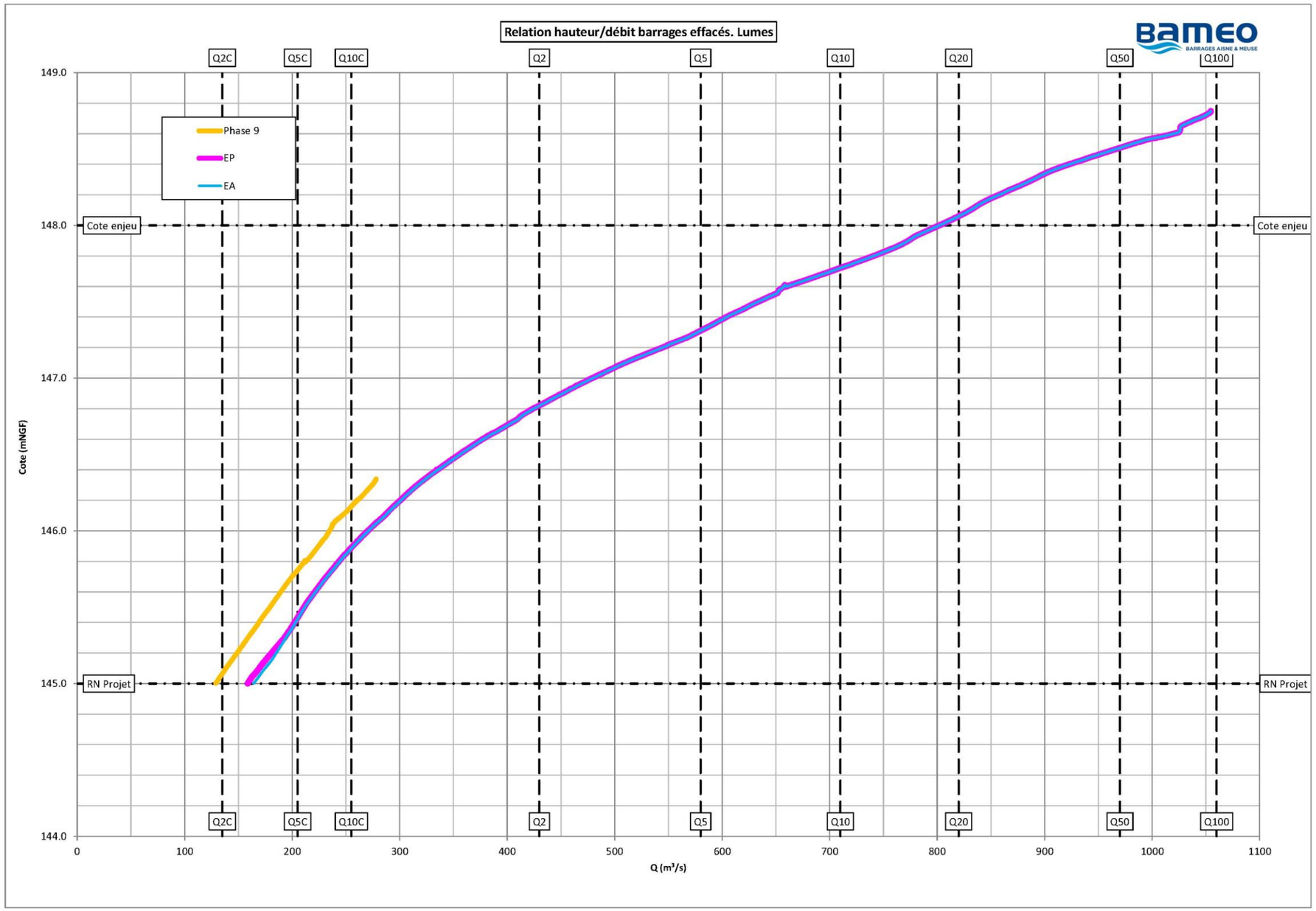


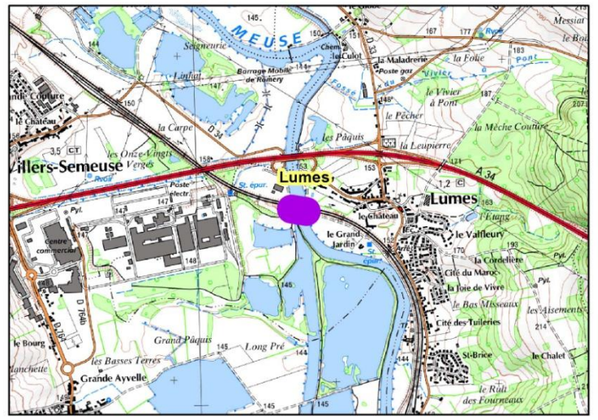
Relation hauteur/débit barrages effacés. Flize



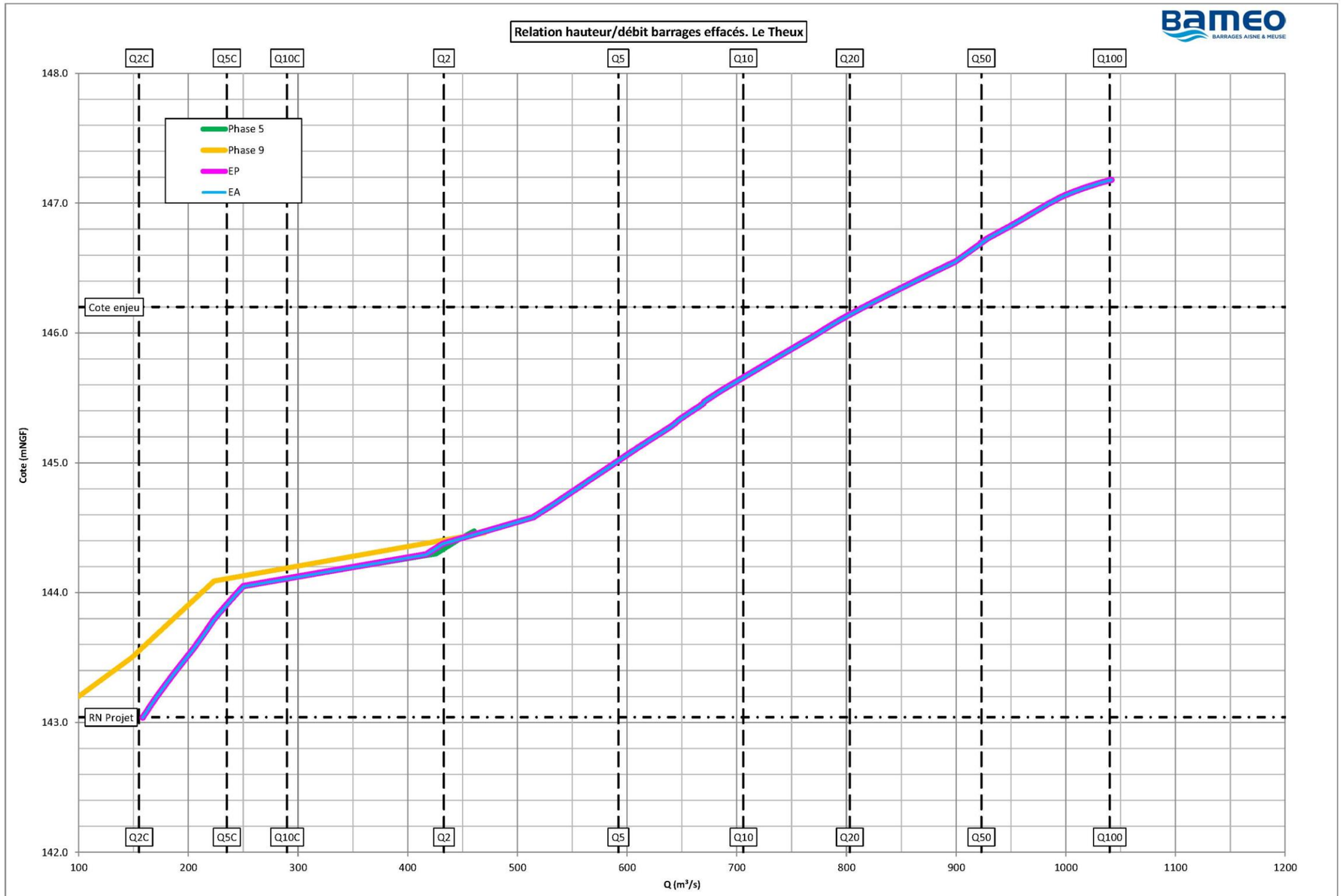


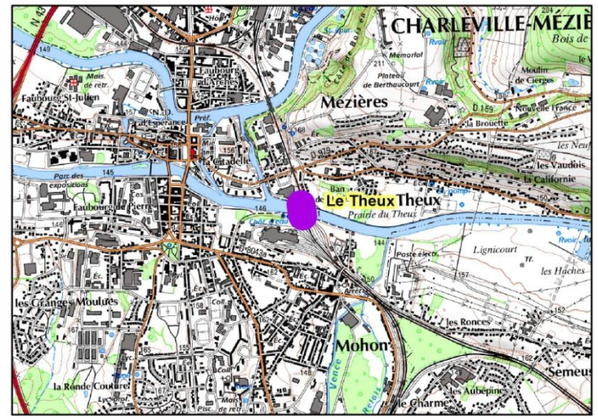
Relation hauteur/débit barrages effacés. Lumes



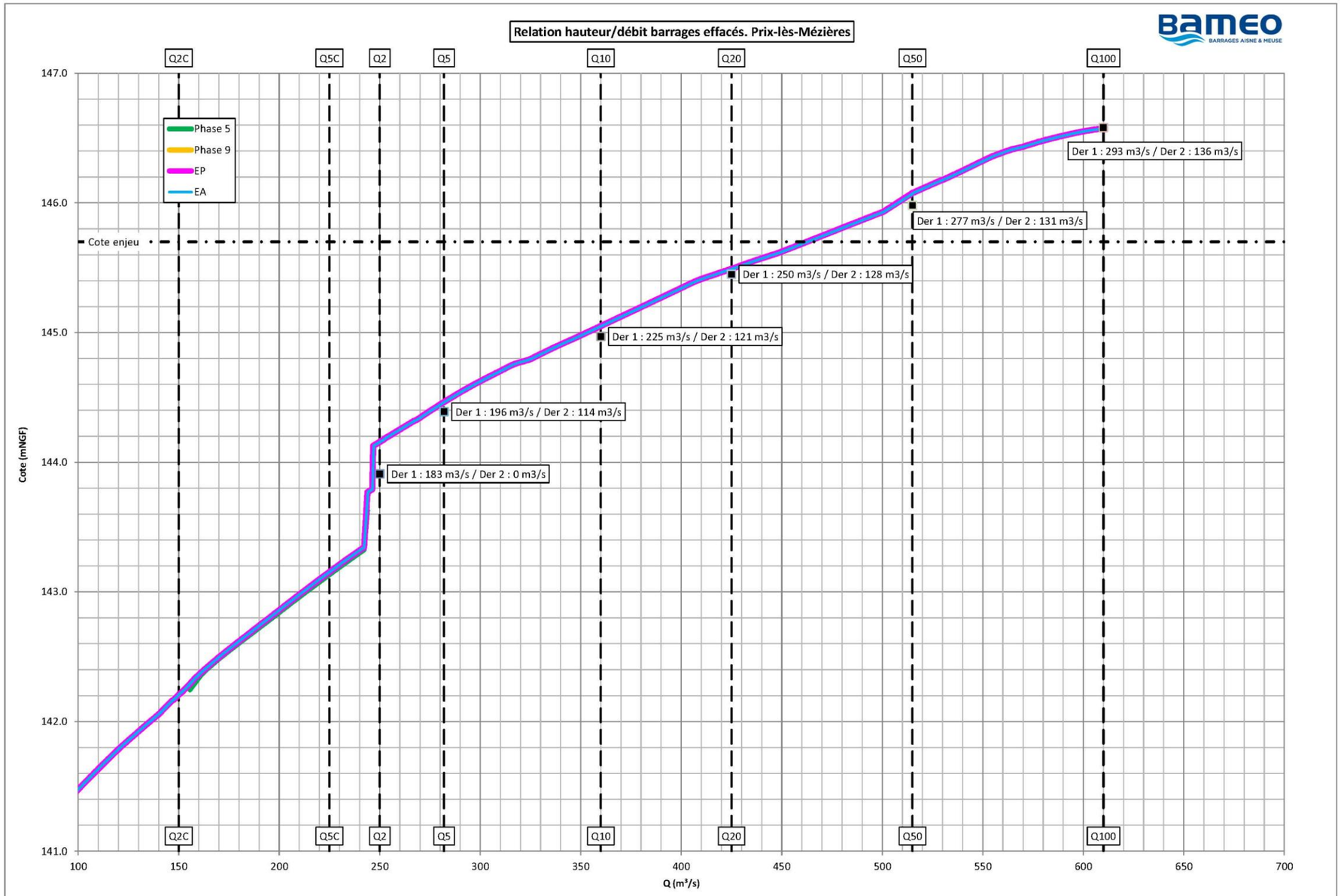


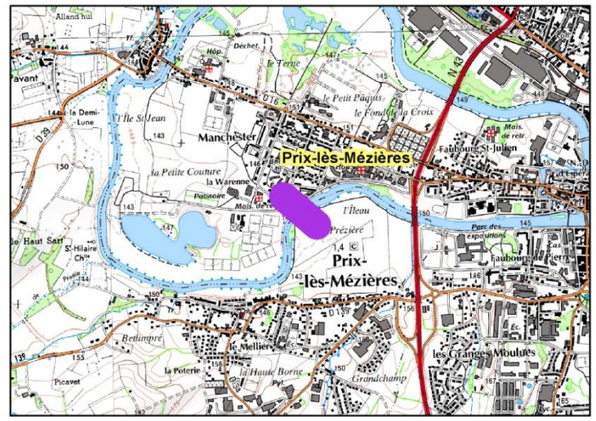
Relation hauteur/débit barrages effacés. Le Theux



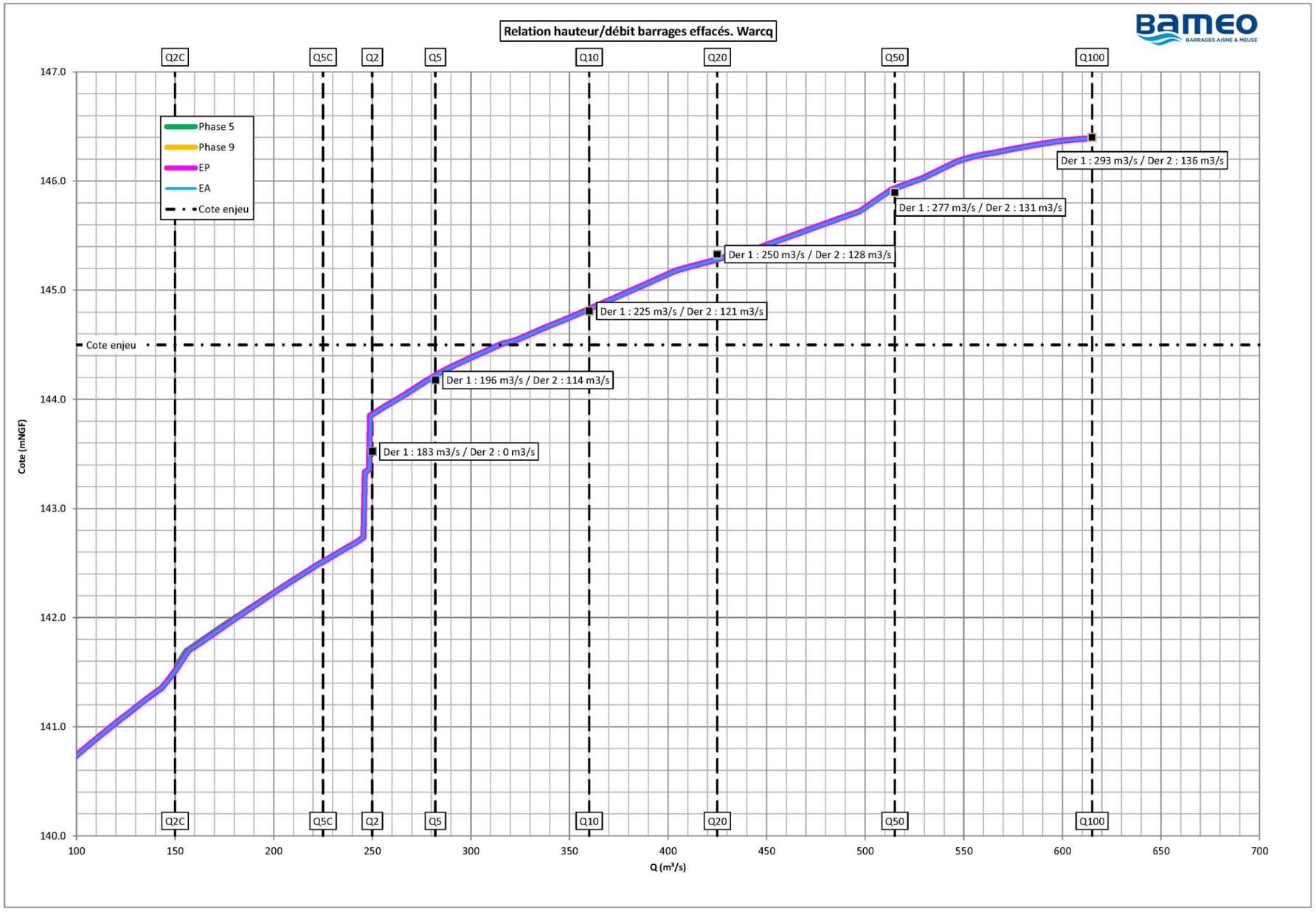


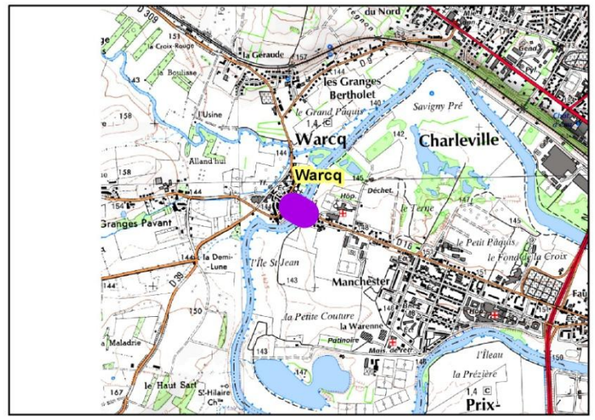
Relation hauteur/débit barrages effacés. Prix-lès-Mézières



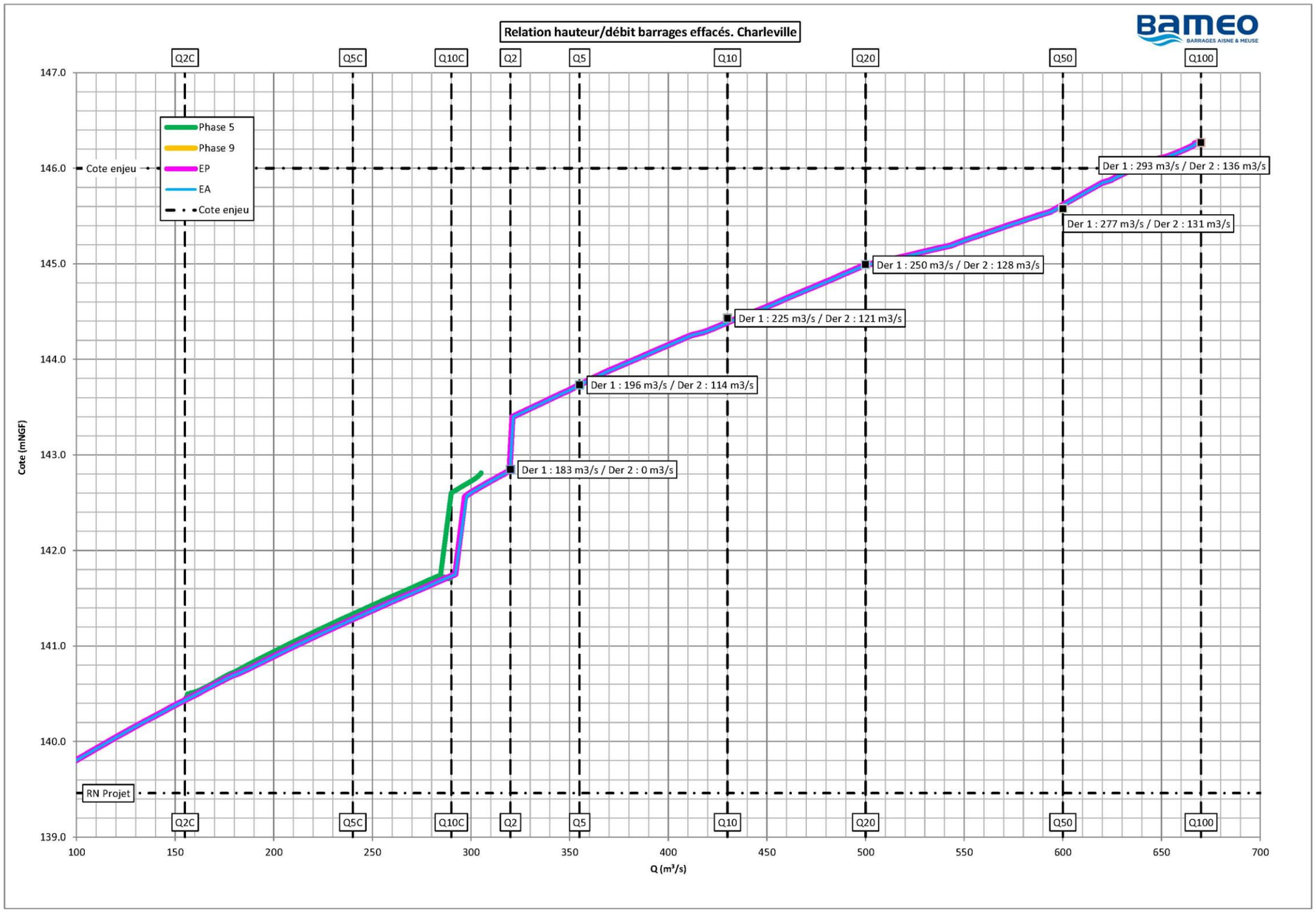


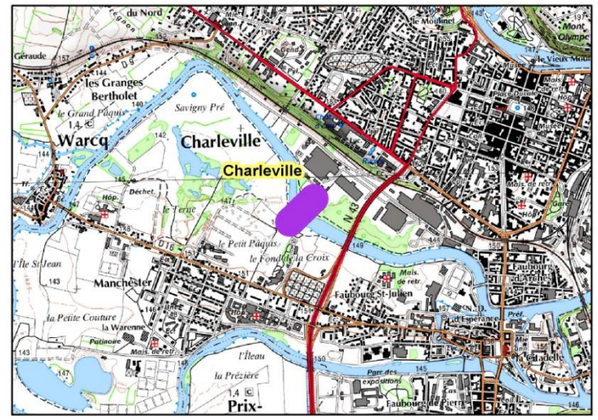
Relation hauteur/débit barrages effacés. Warcq



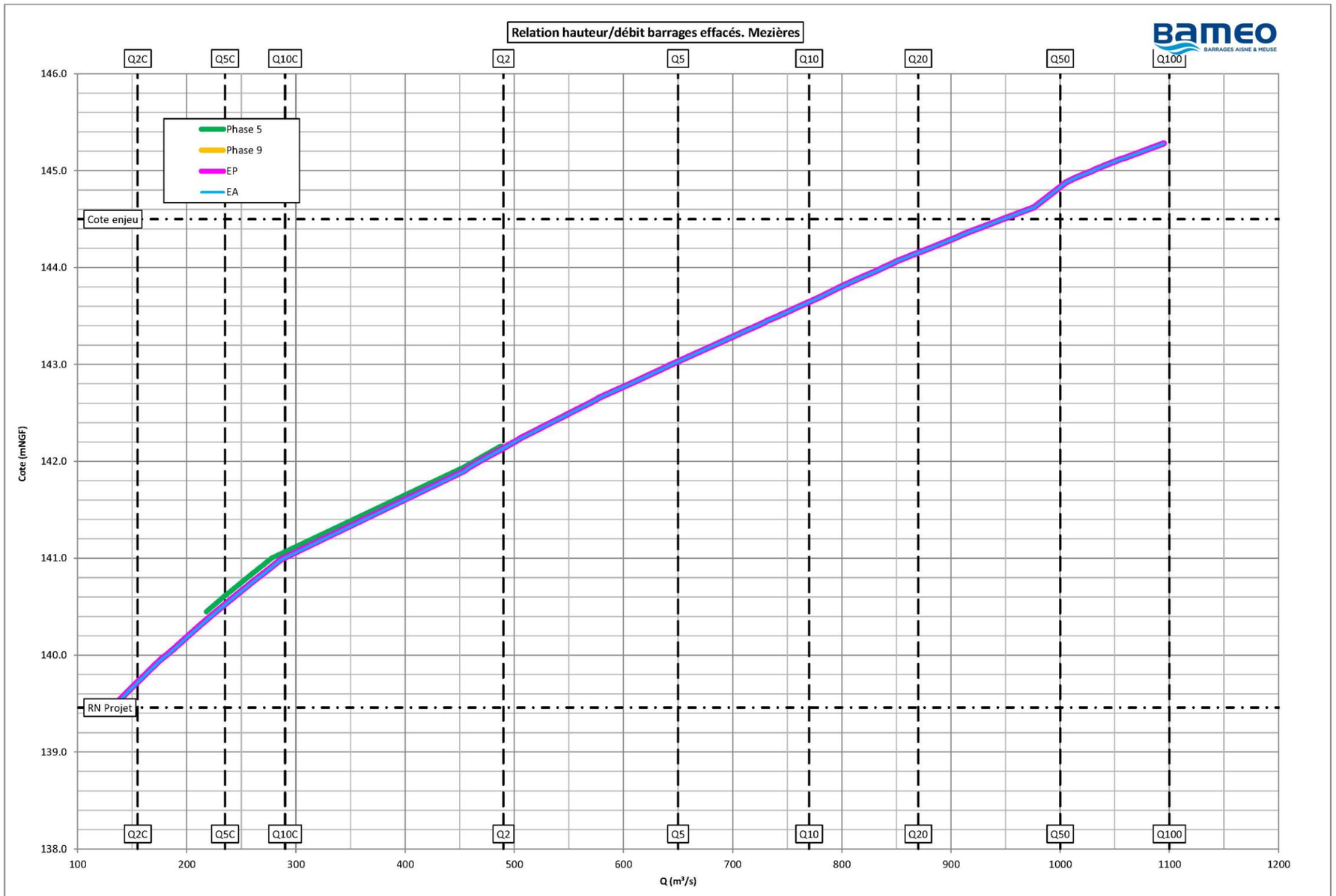


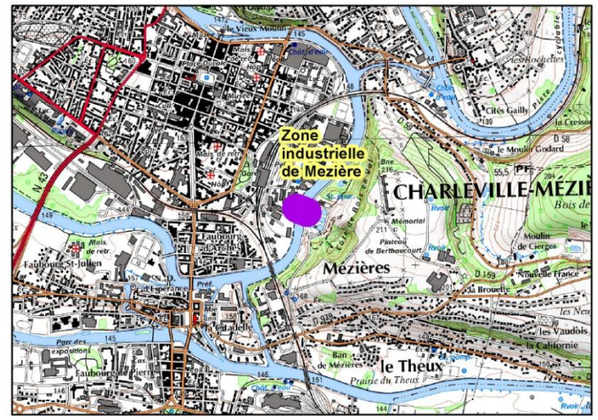
Relation hauteur/débit barrages effacés. Charleville



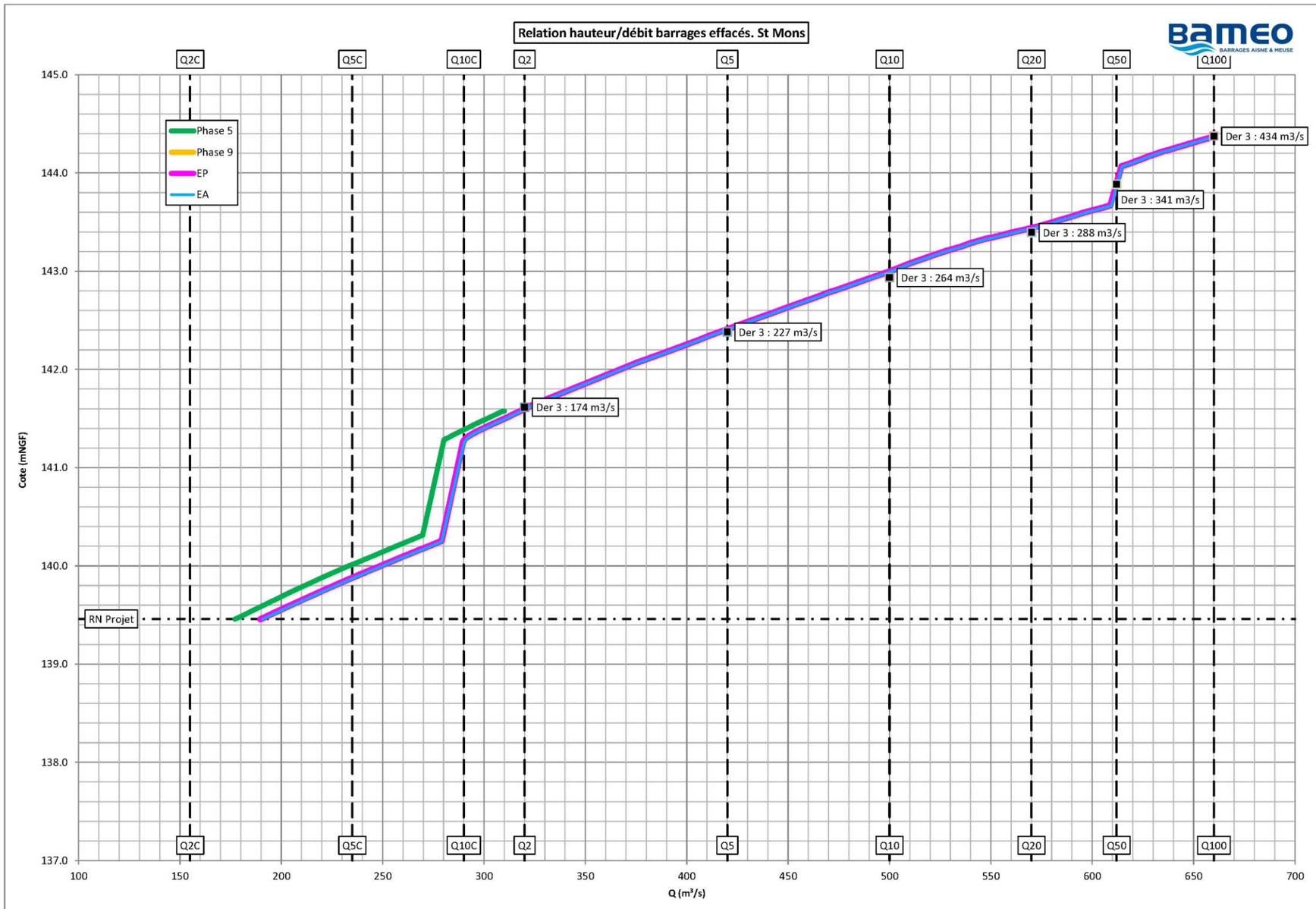


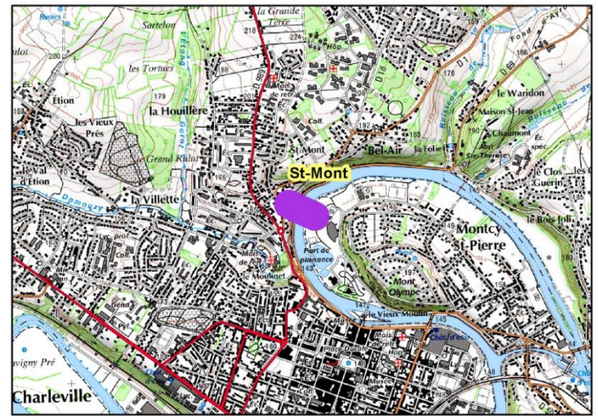
Relation hauteur/débit barrages effacés. Mezières



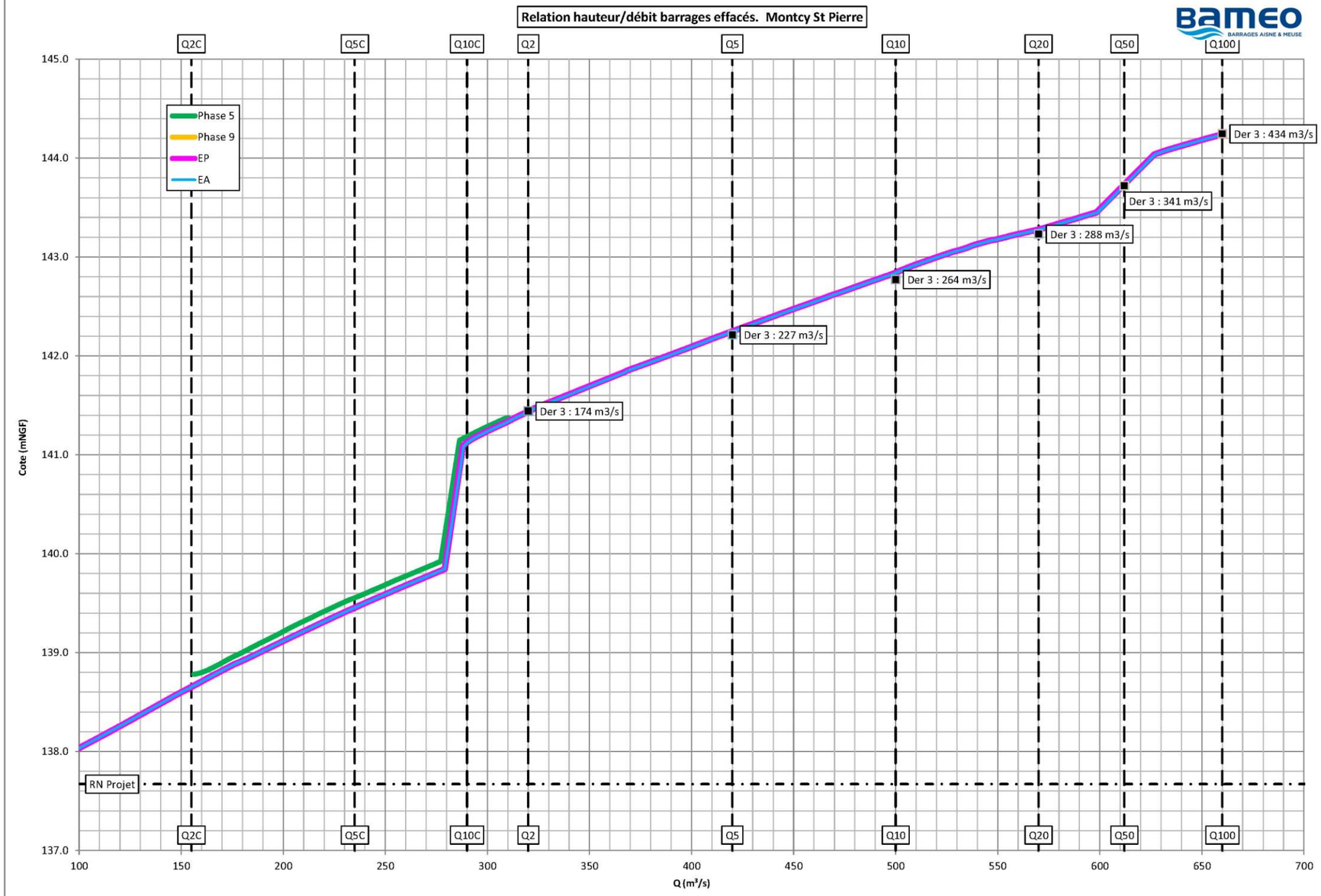


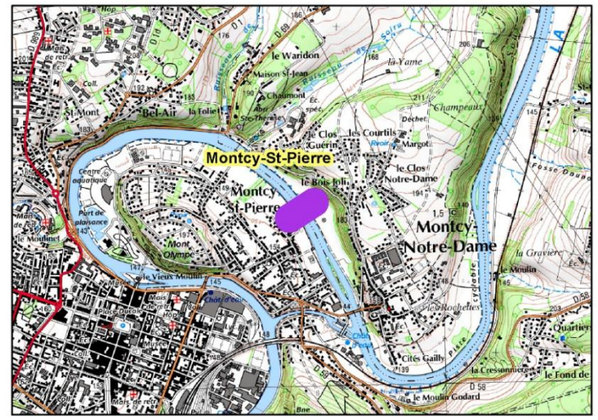
Relation hauteur/débit barrages effacés. St Mons



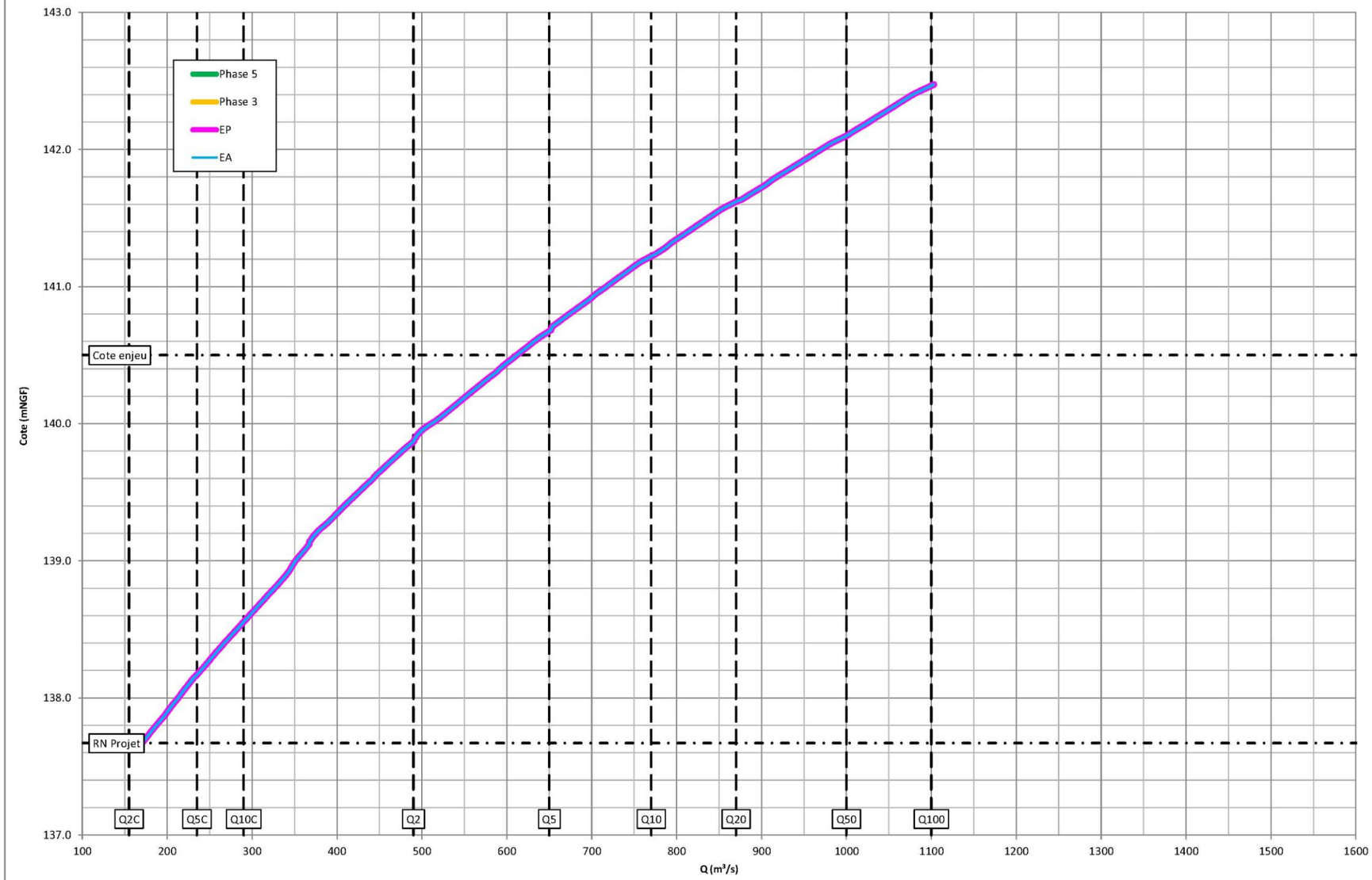


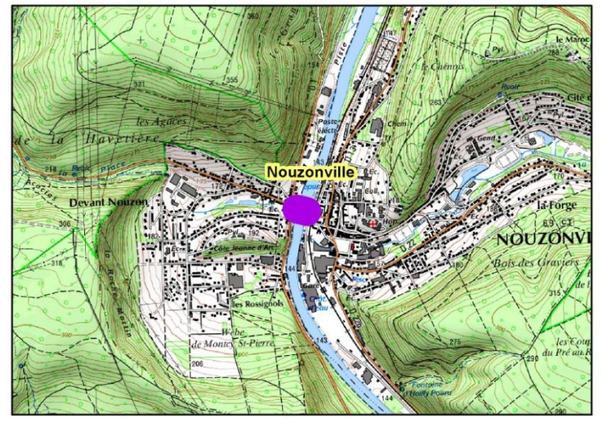
Relation hauteur/débit barrages effacés. Montcy St Pierre



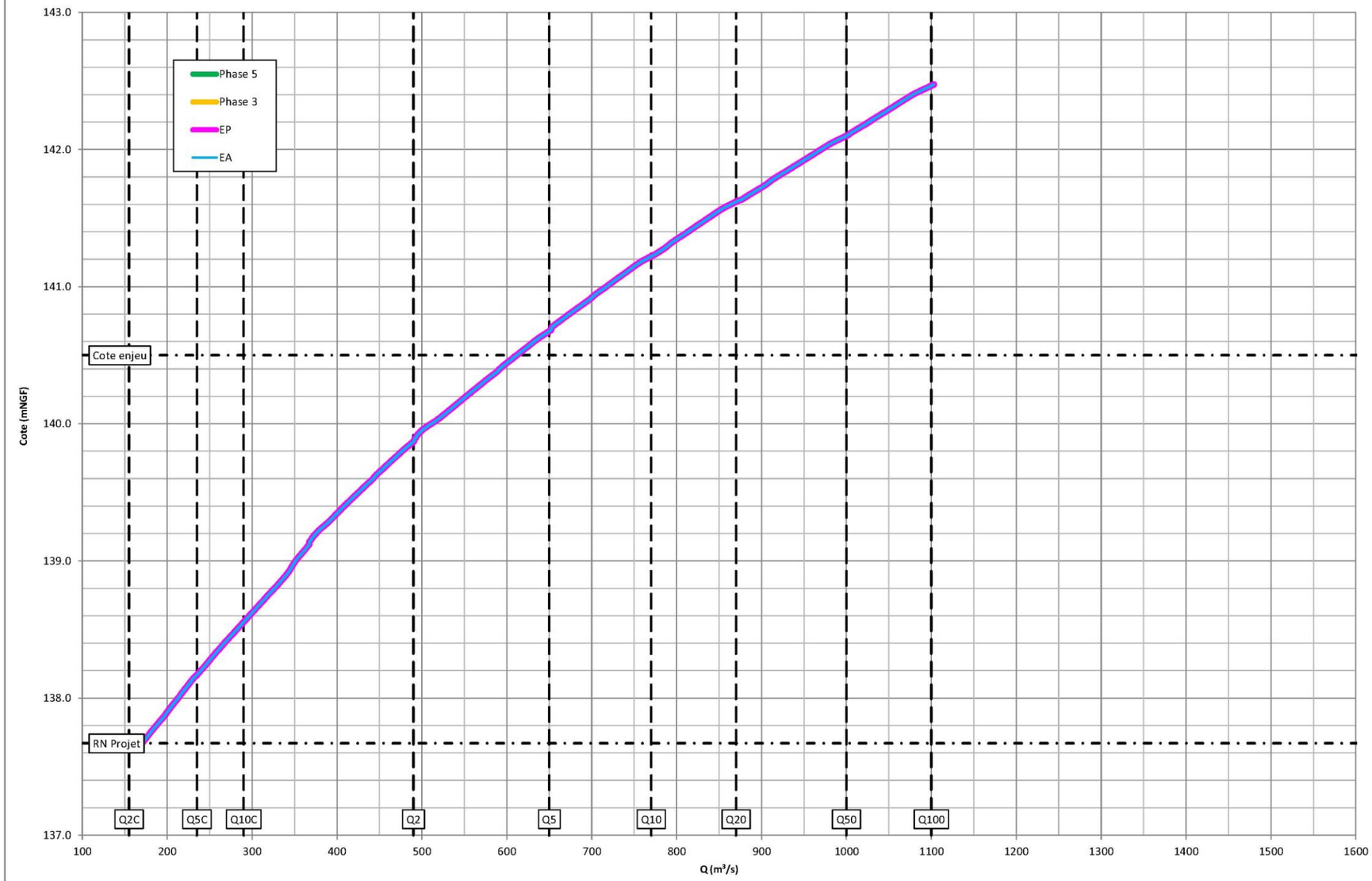


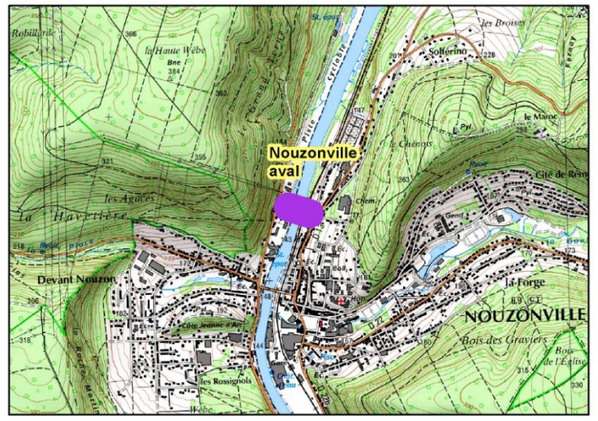
Relation hauteur/débit barrages effacés. Nouzonville



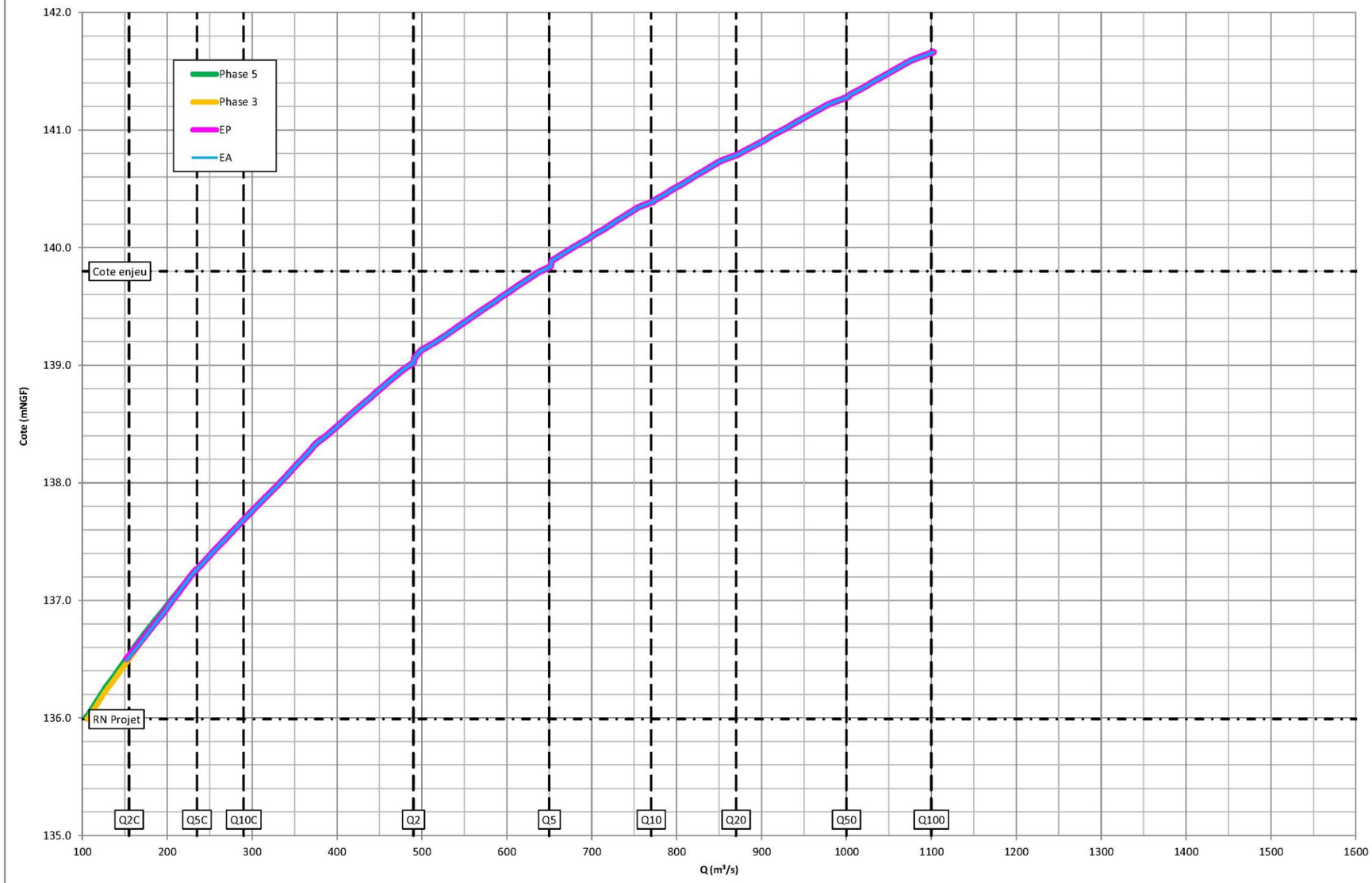


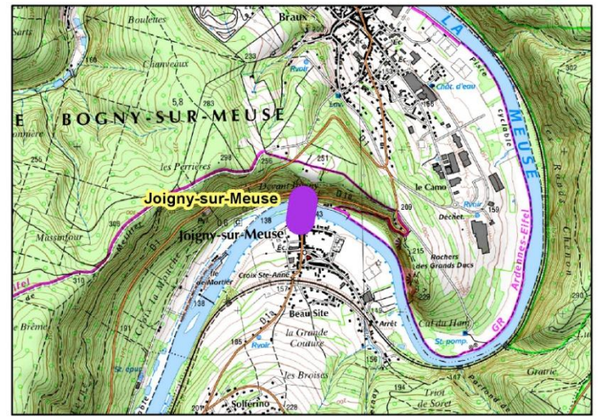
Relation hauteur/débit barrages effacés. Nouzonville aval



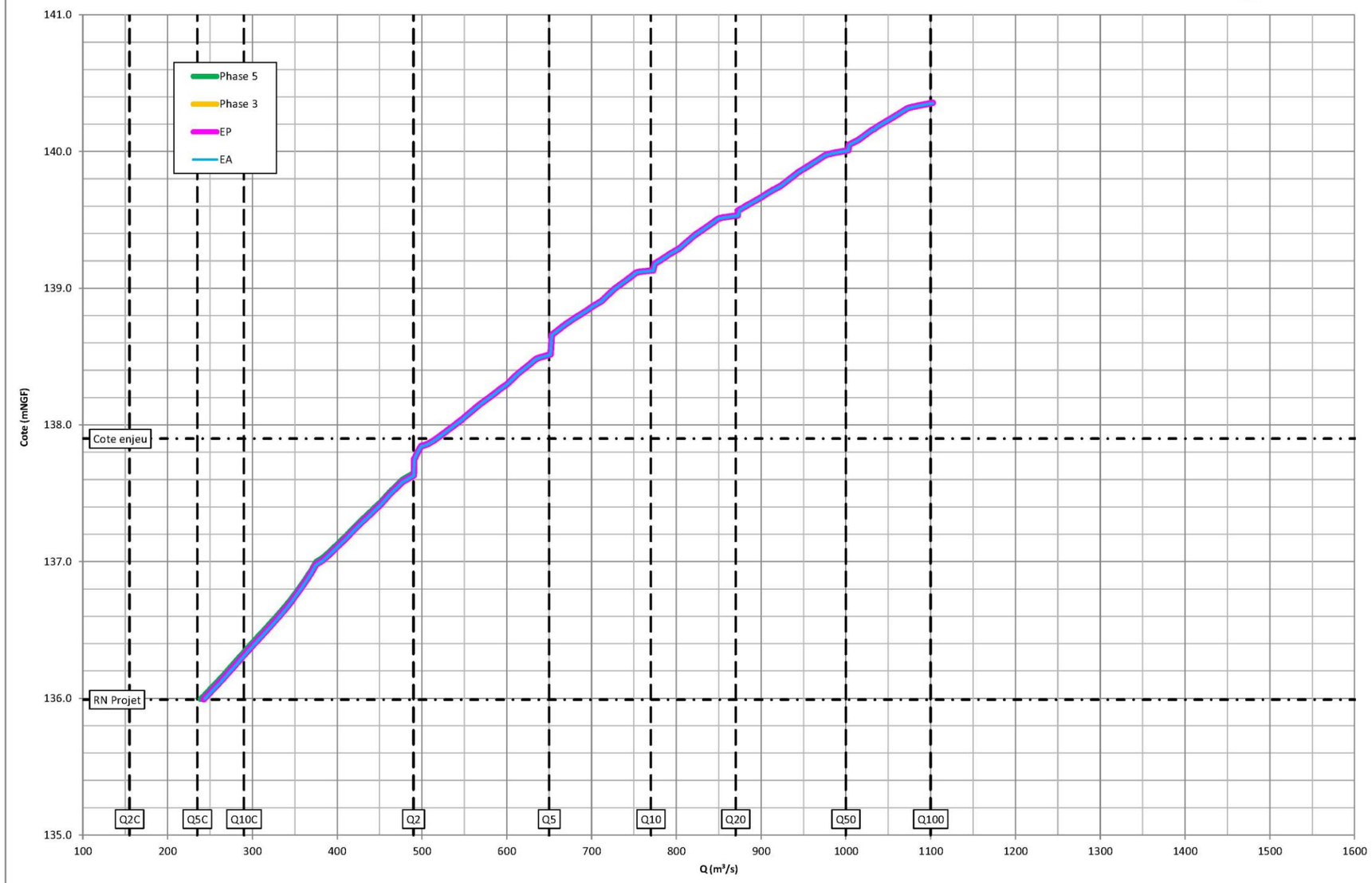


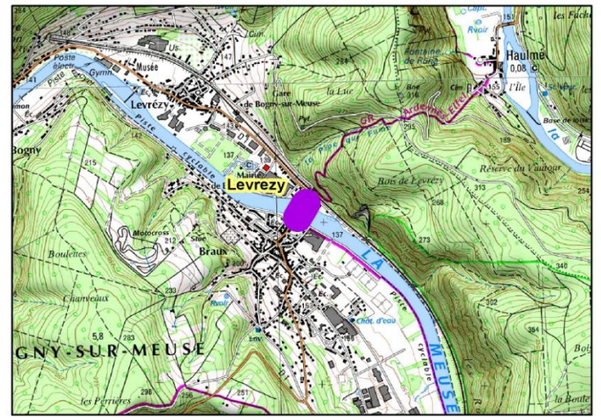
Relation hauteur/débit barrages effacés. Joigny sur Meuse



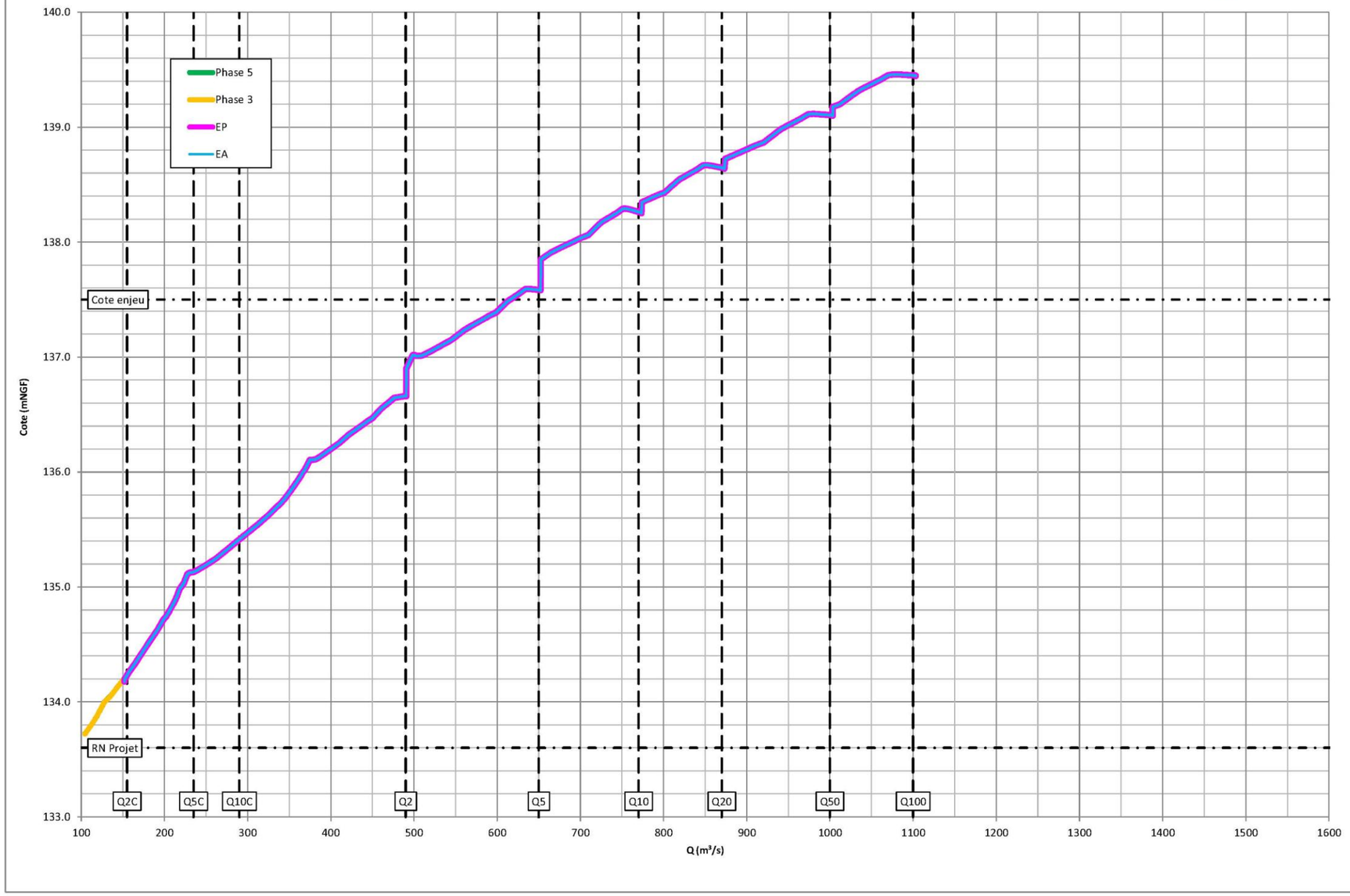


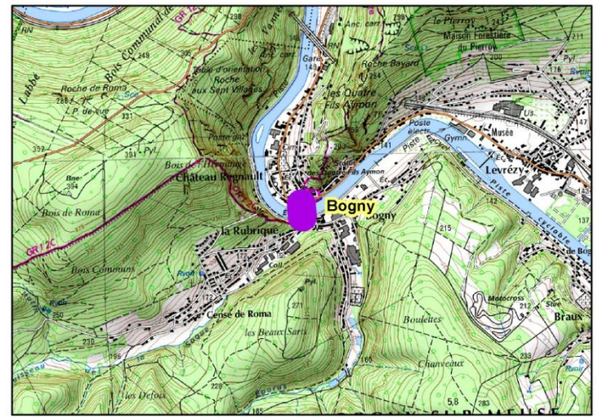
Relation hauteur/débit barrages effacés. Levrezy



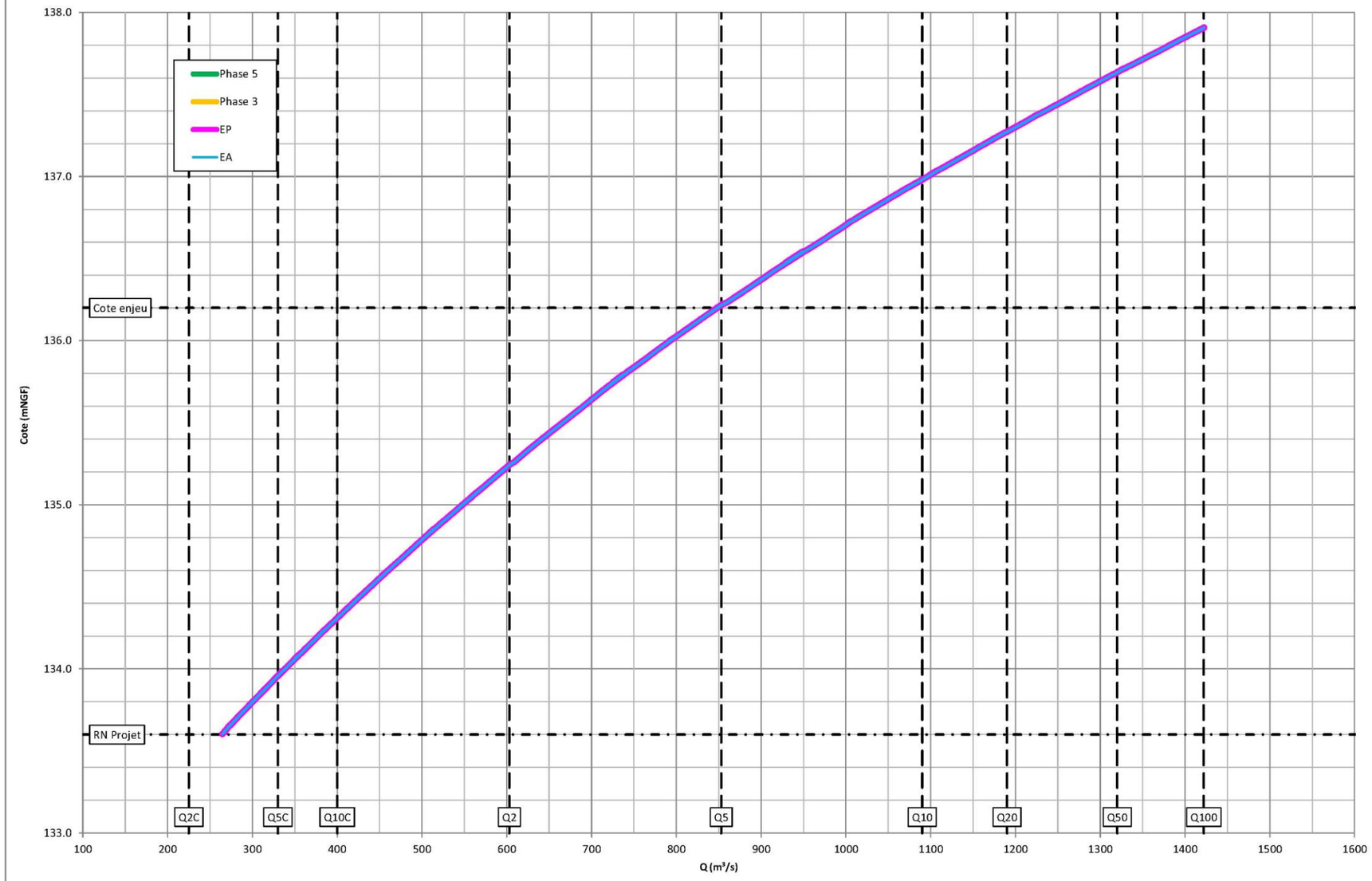


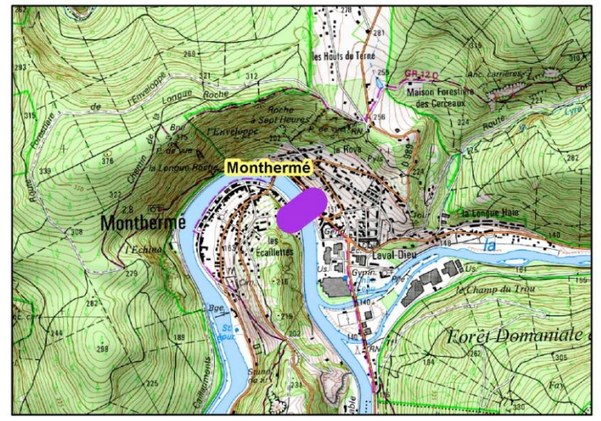
Relation hauteur/débit barrages effacés. Bogny



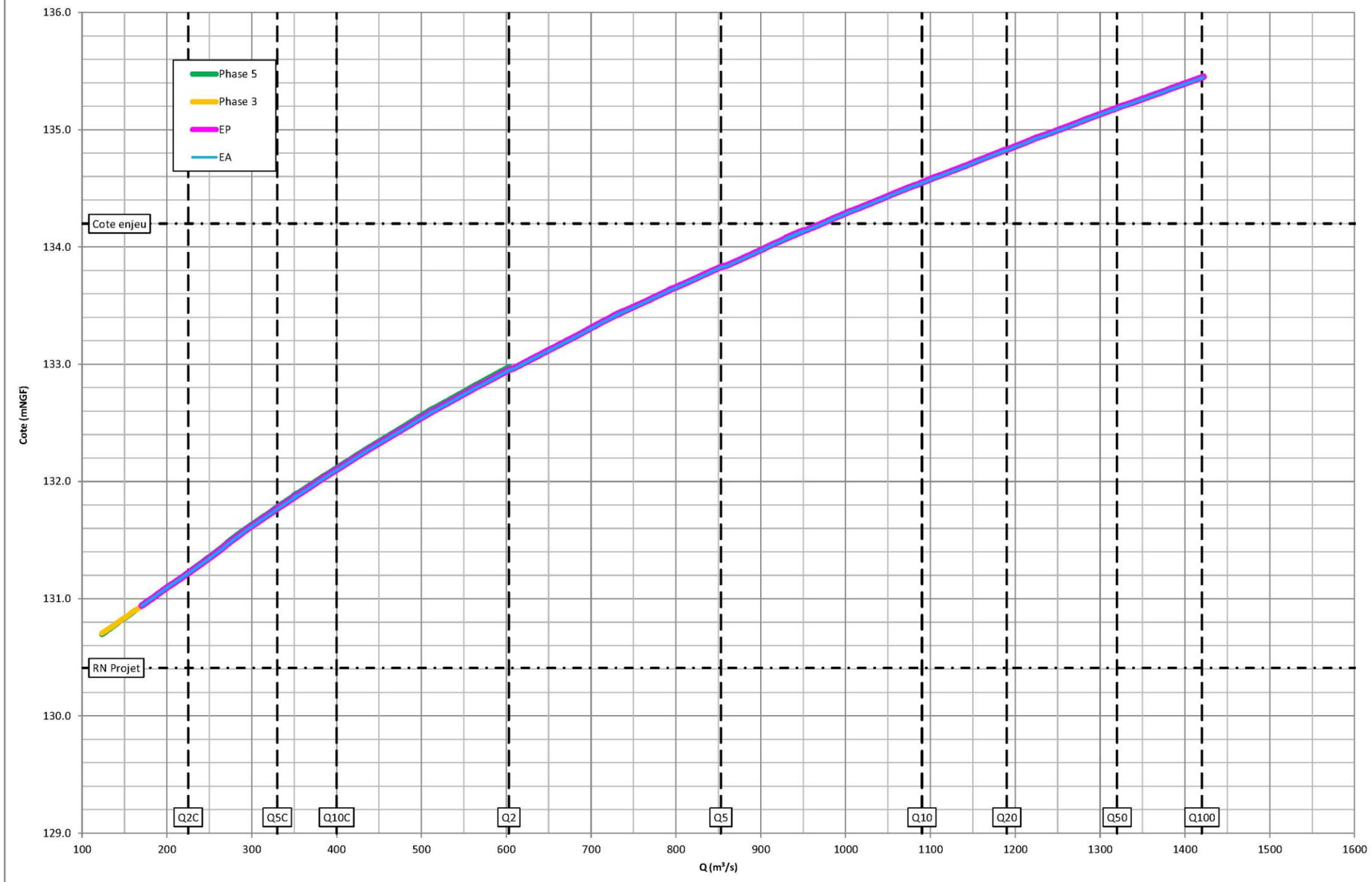


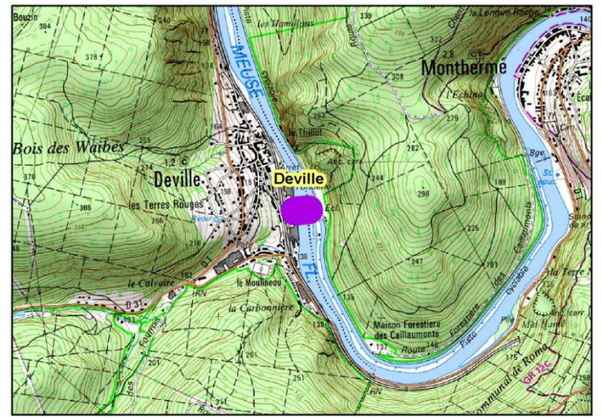
Relation hauteur/débit barrages effacés. Monthermé



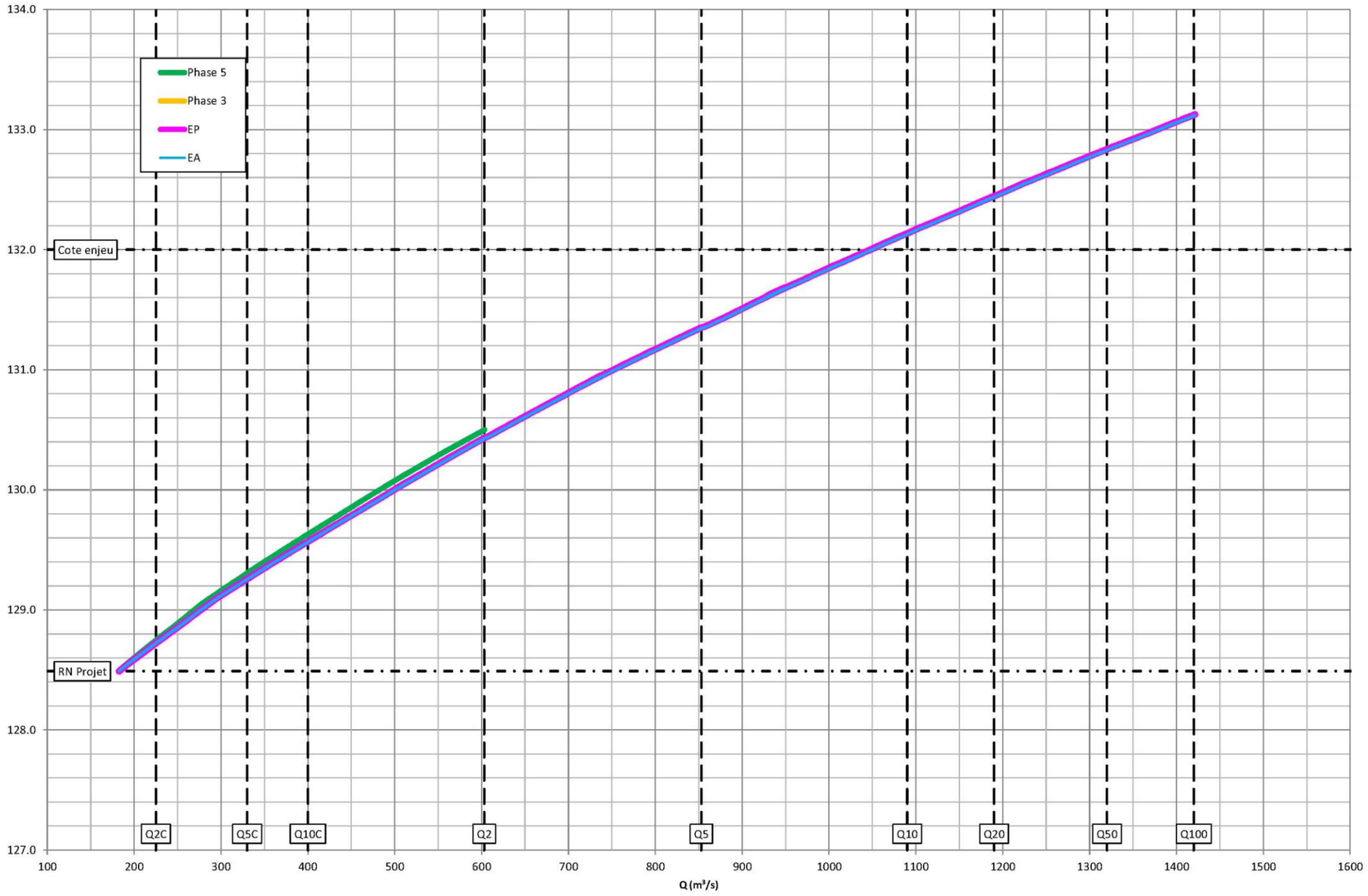


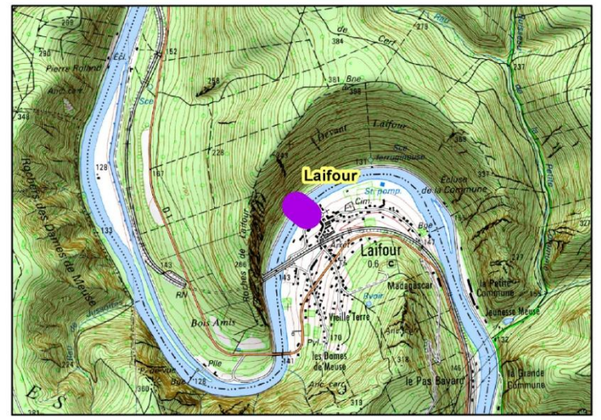
Relation hauteur/débit barrages effacés. Deville



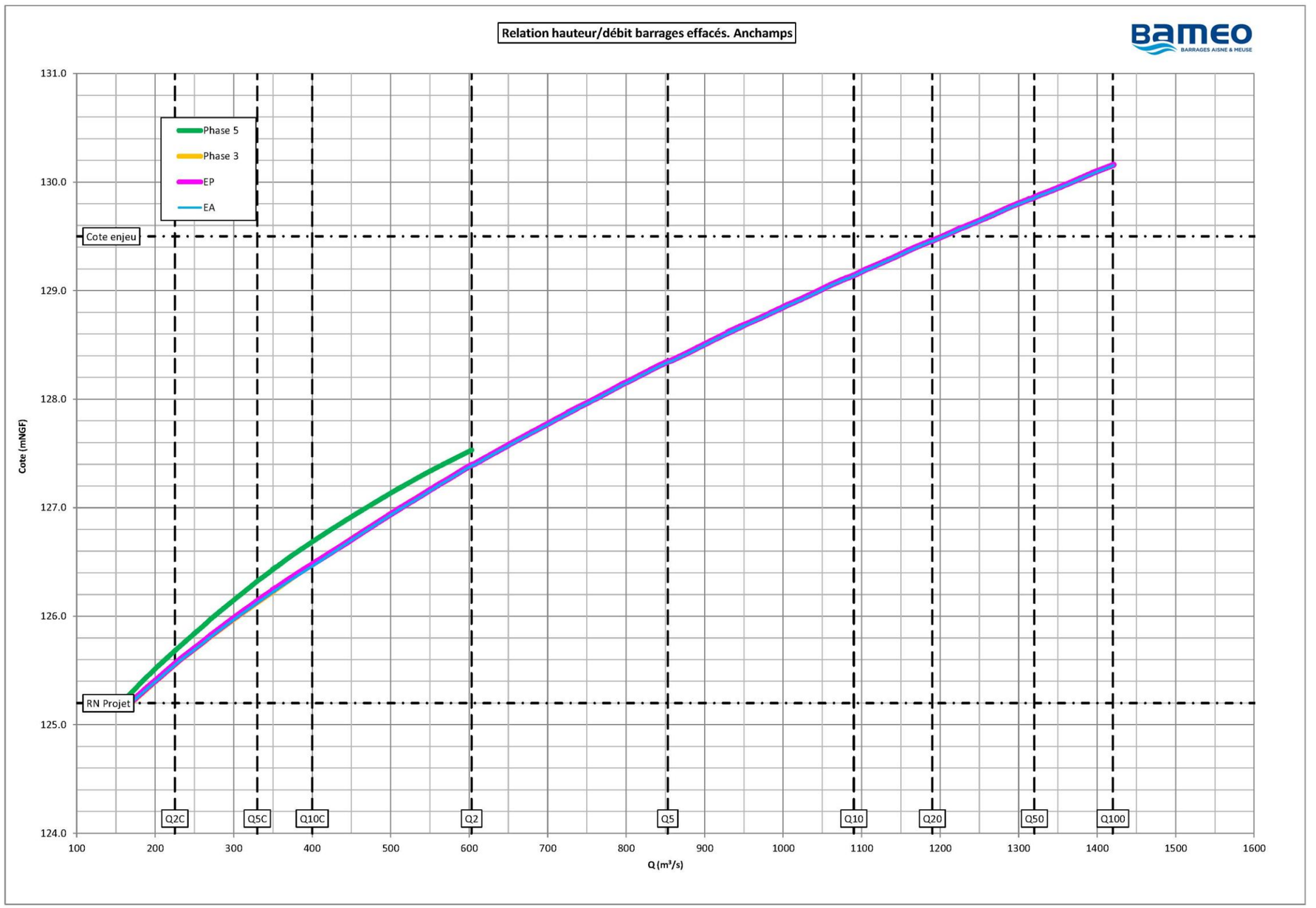


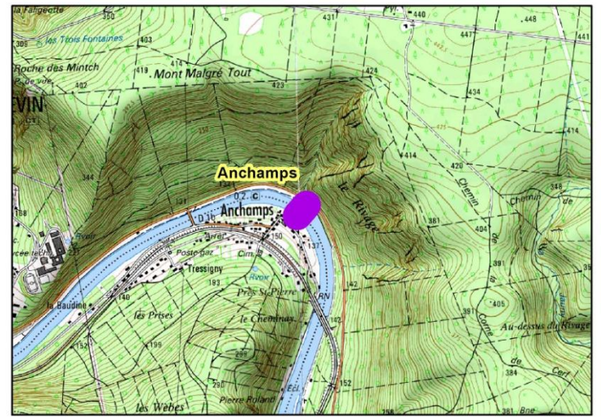
Relation hauteur/débit barrages effacés. Laifour



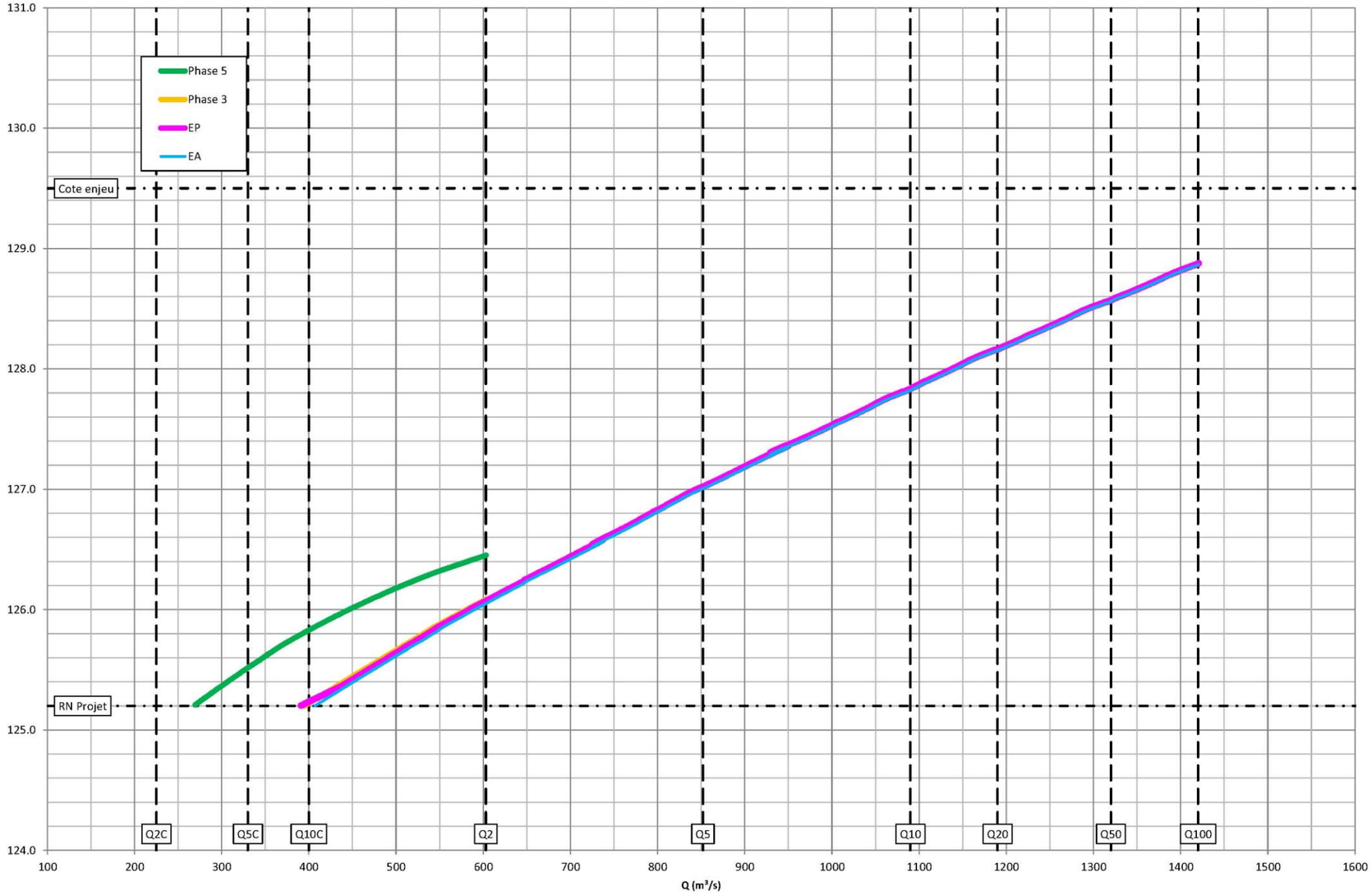


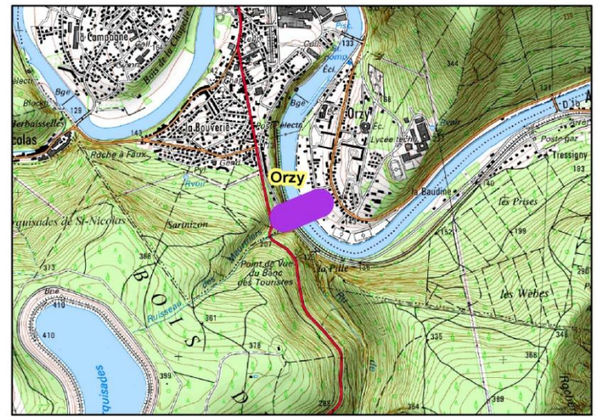
Relation hauteur/débit barrages effacés. Anchamps



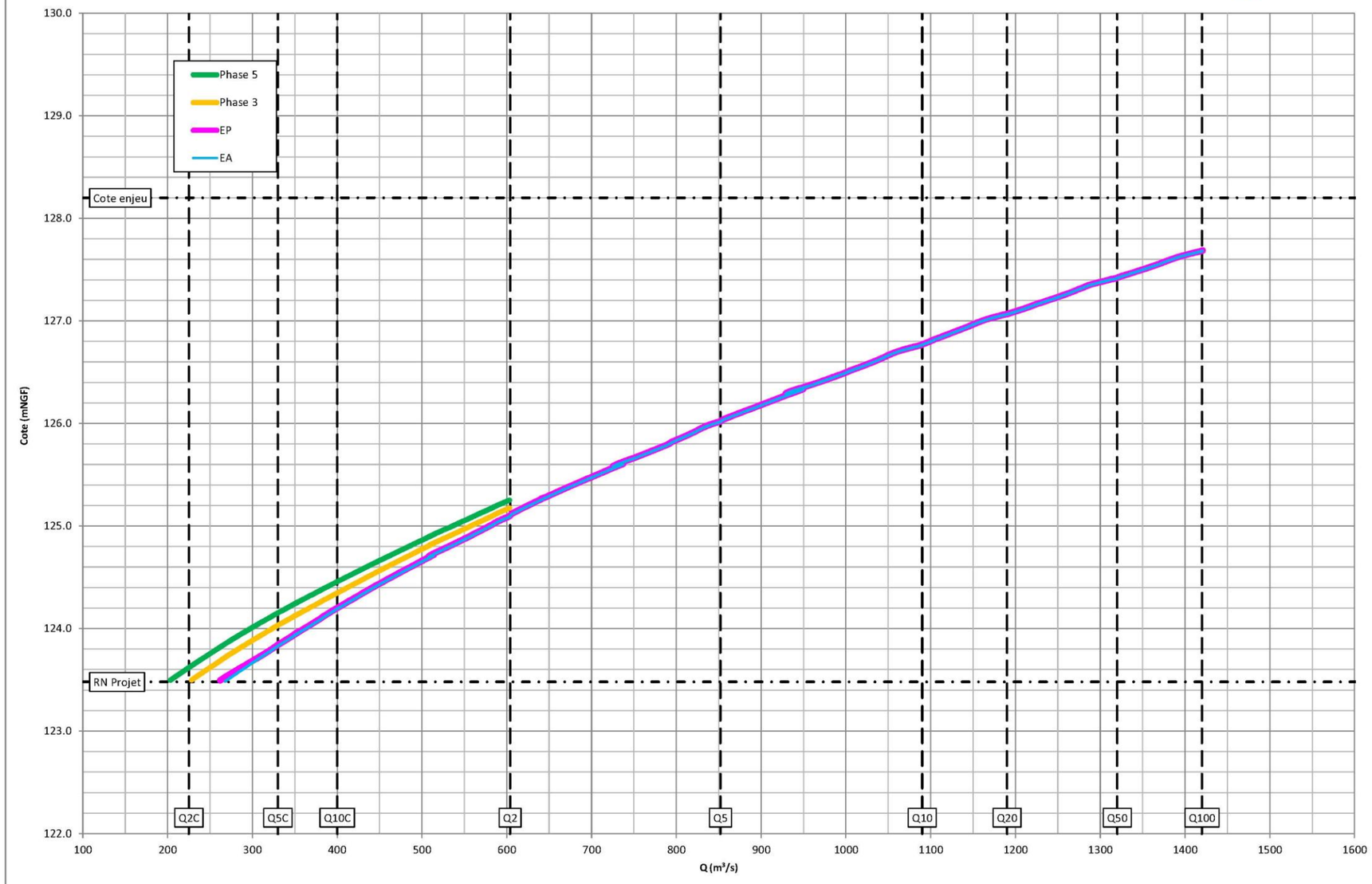


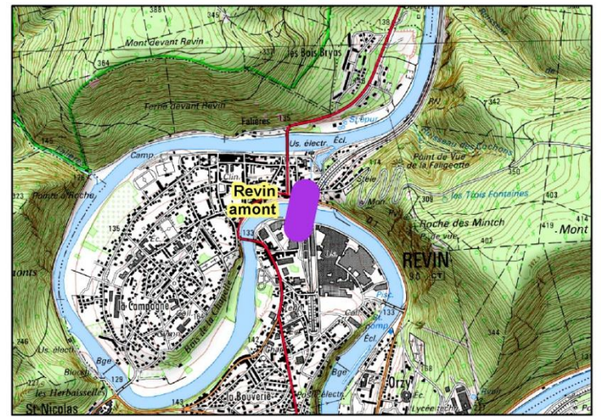
Relation hauteur/débit barrages effacés. Orzy



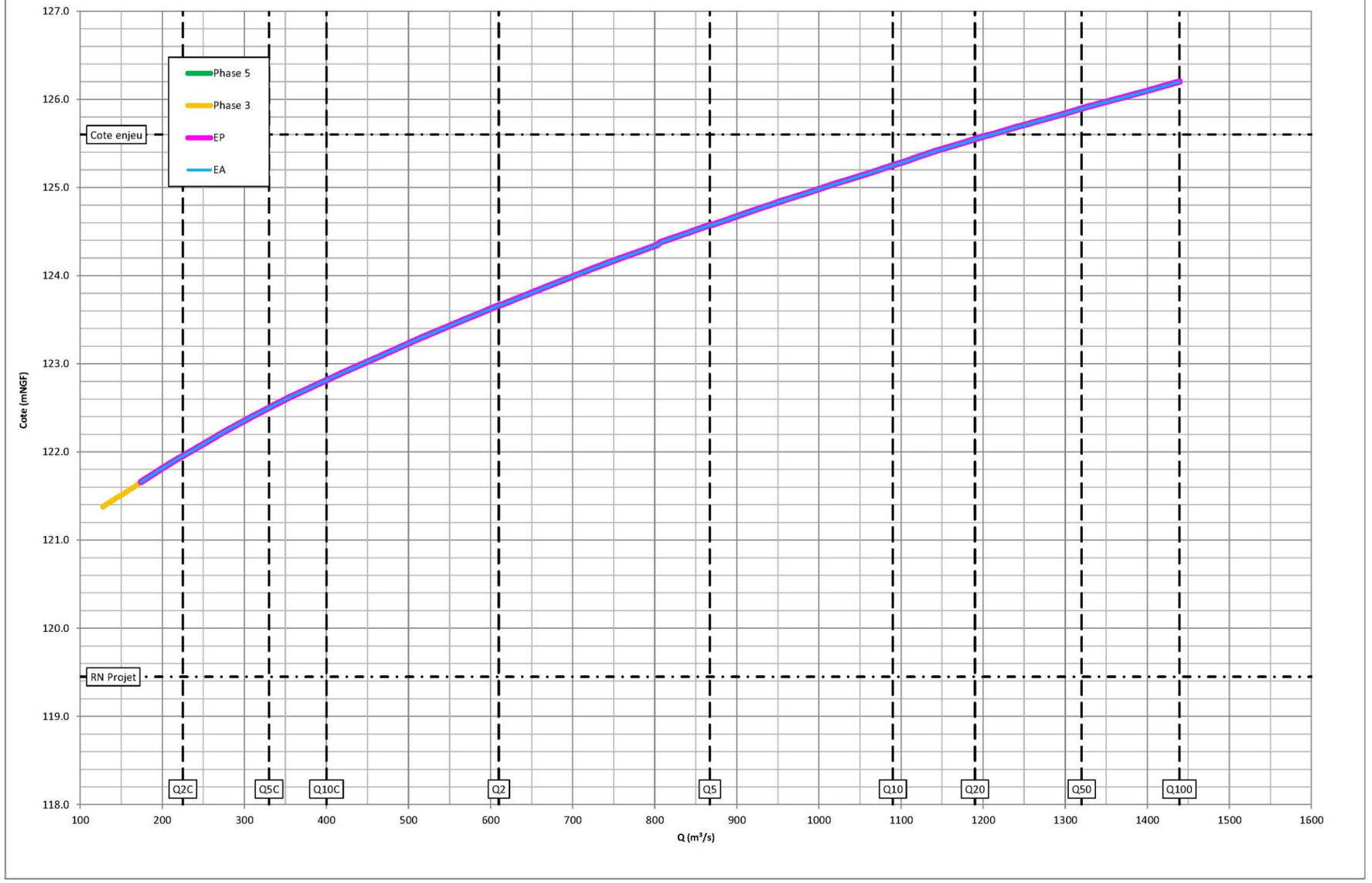


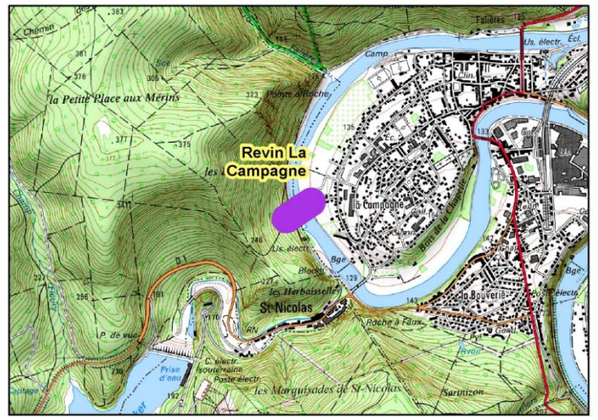
Relation hauteur/débit barrages effacés. Revin amont



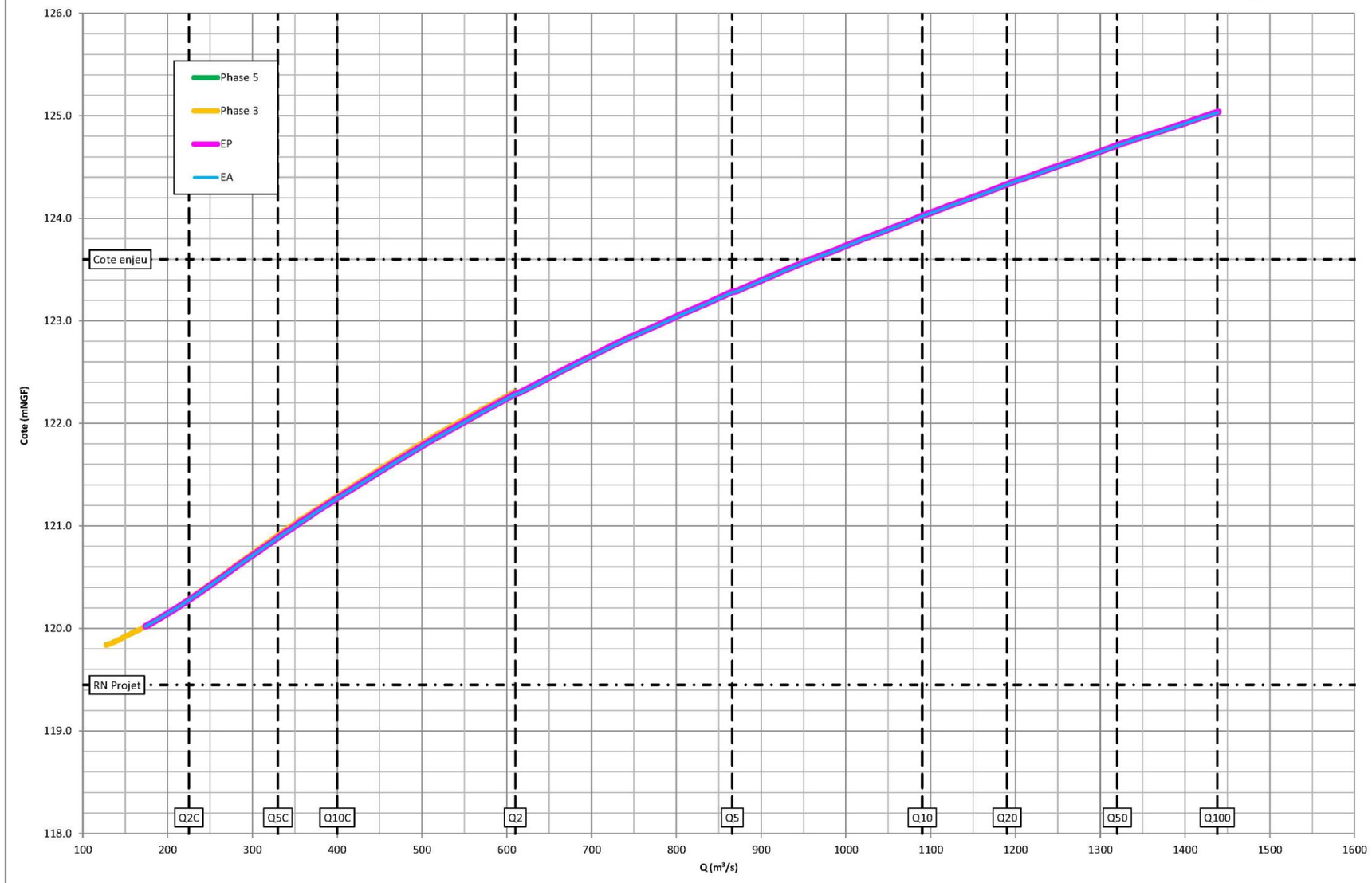


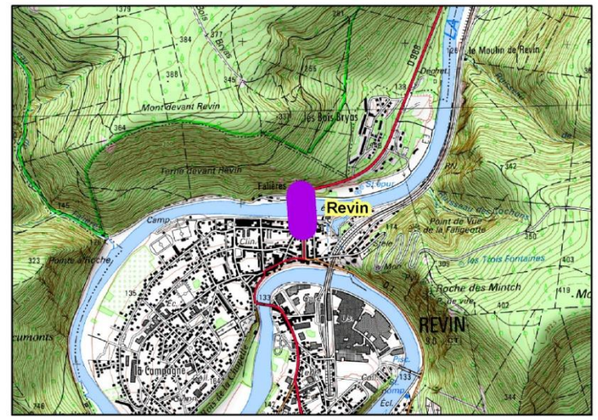
Relation hauteur/débit barrages effacés. Revin La campagne



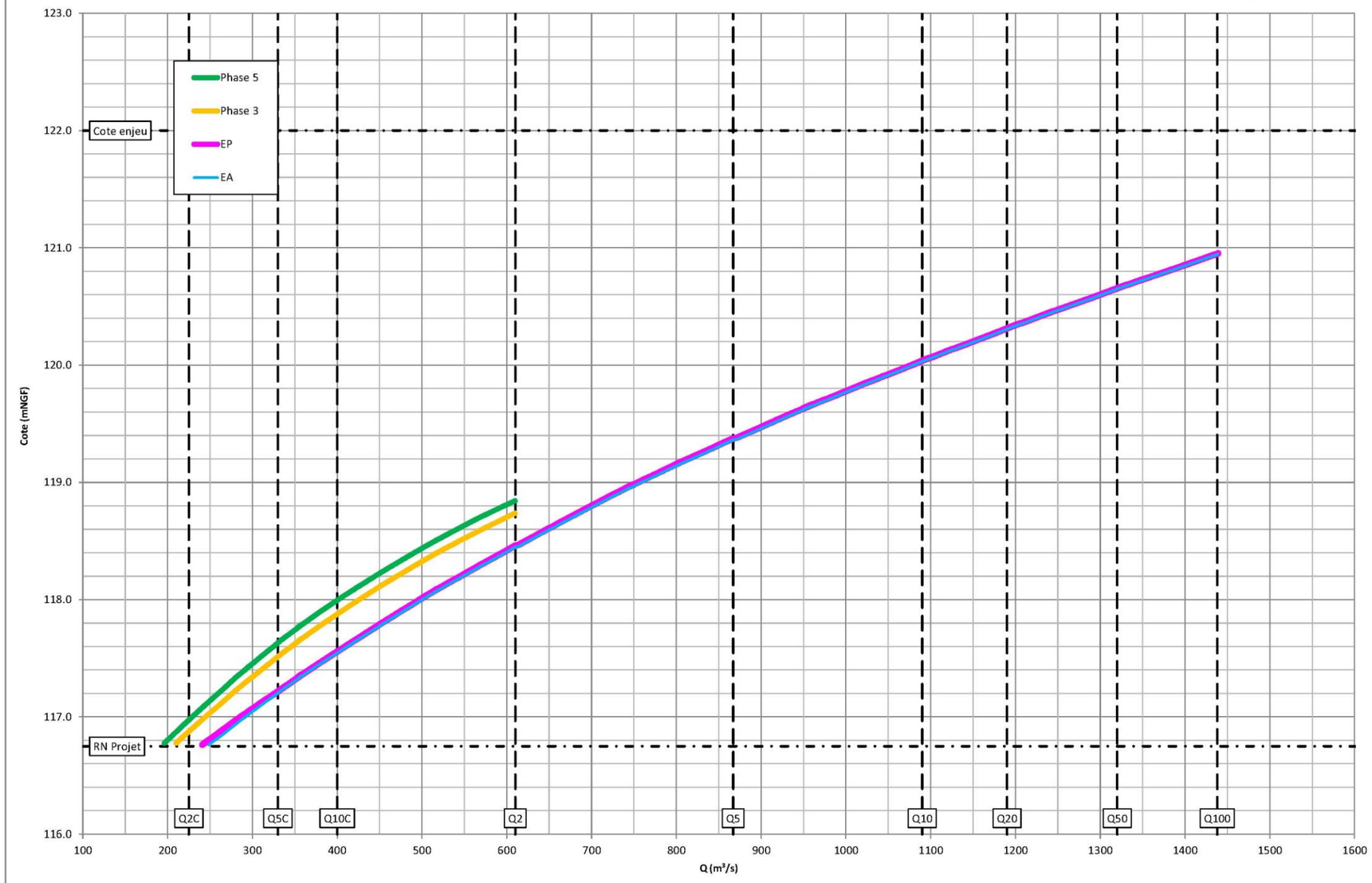


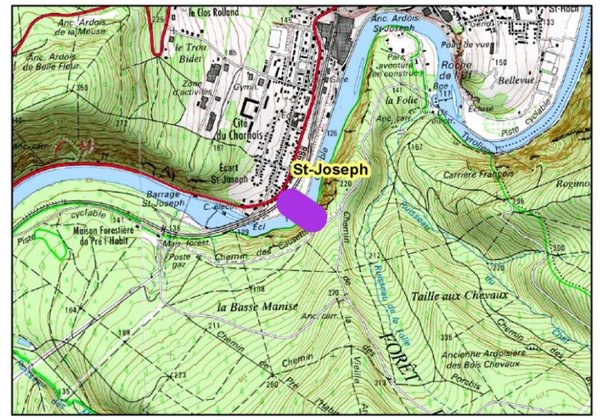
Relation hauteur/débit barrages effacés. Revin aval



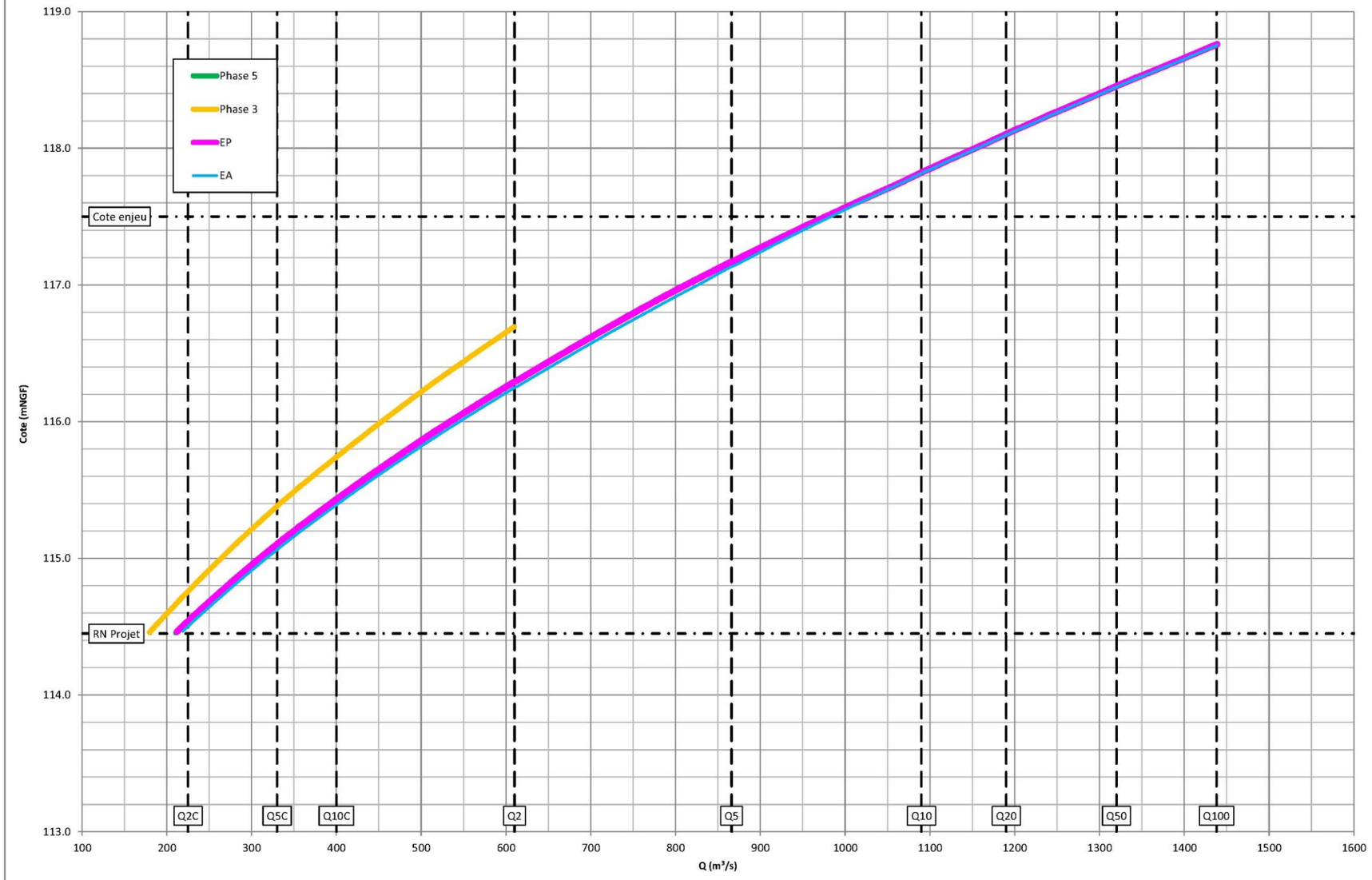


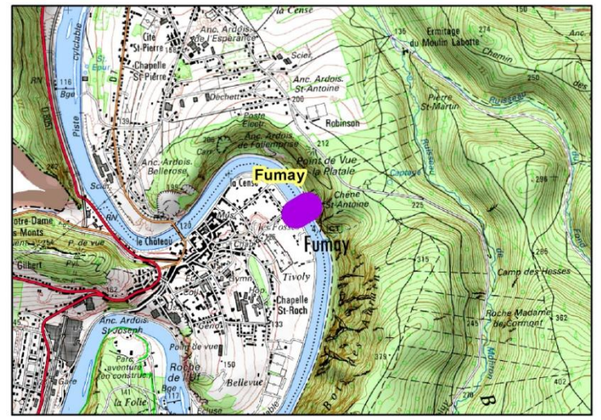
Relation hauteur/débit barrages effacés. St Joseph



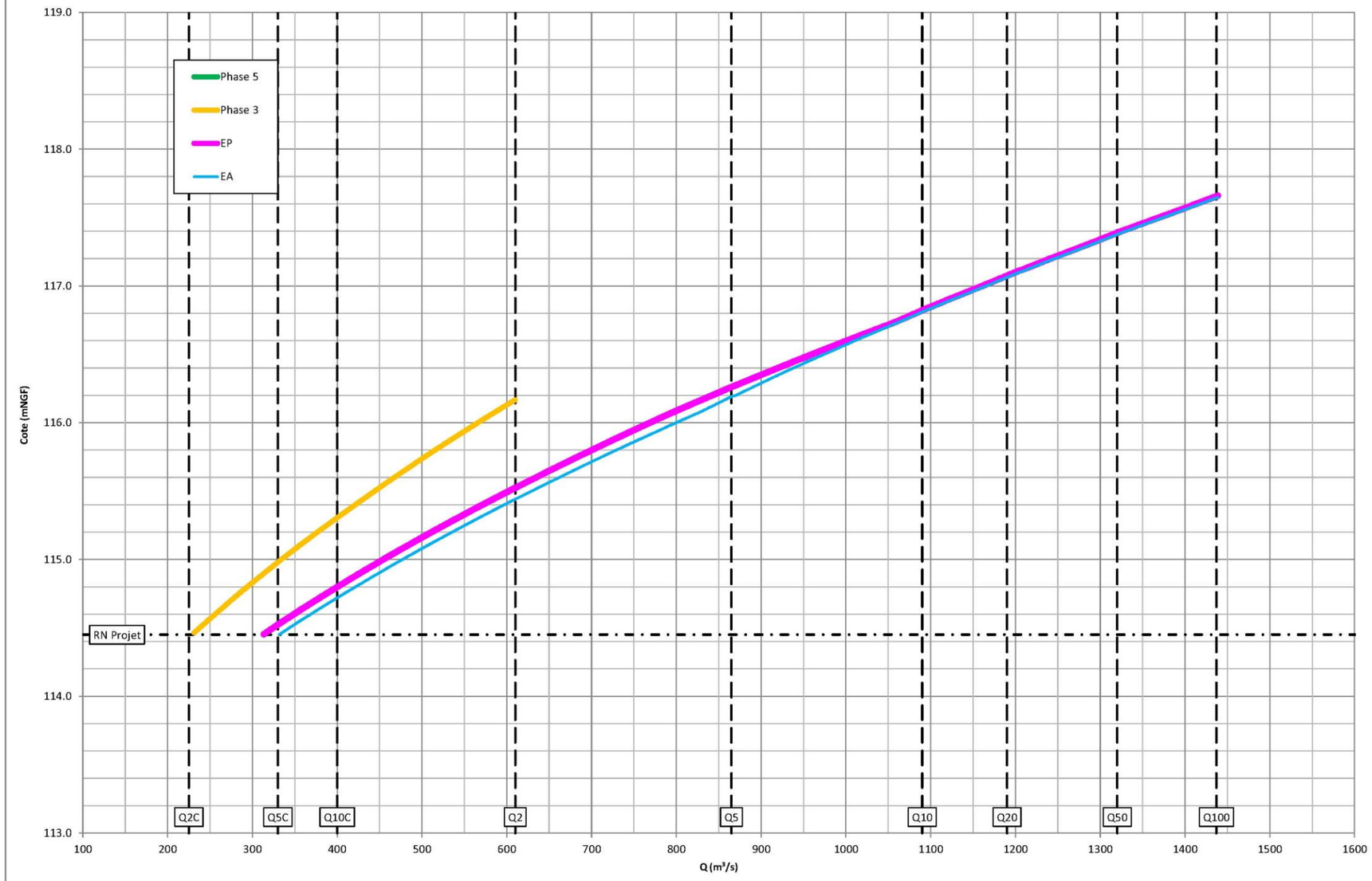


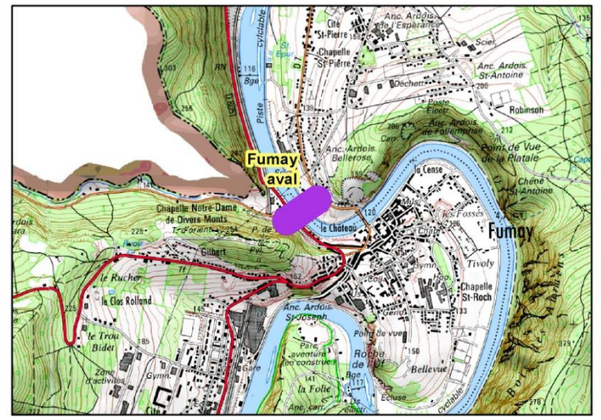
Relation hauteur/débit barrages effacés. Fumay



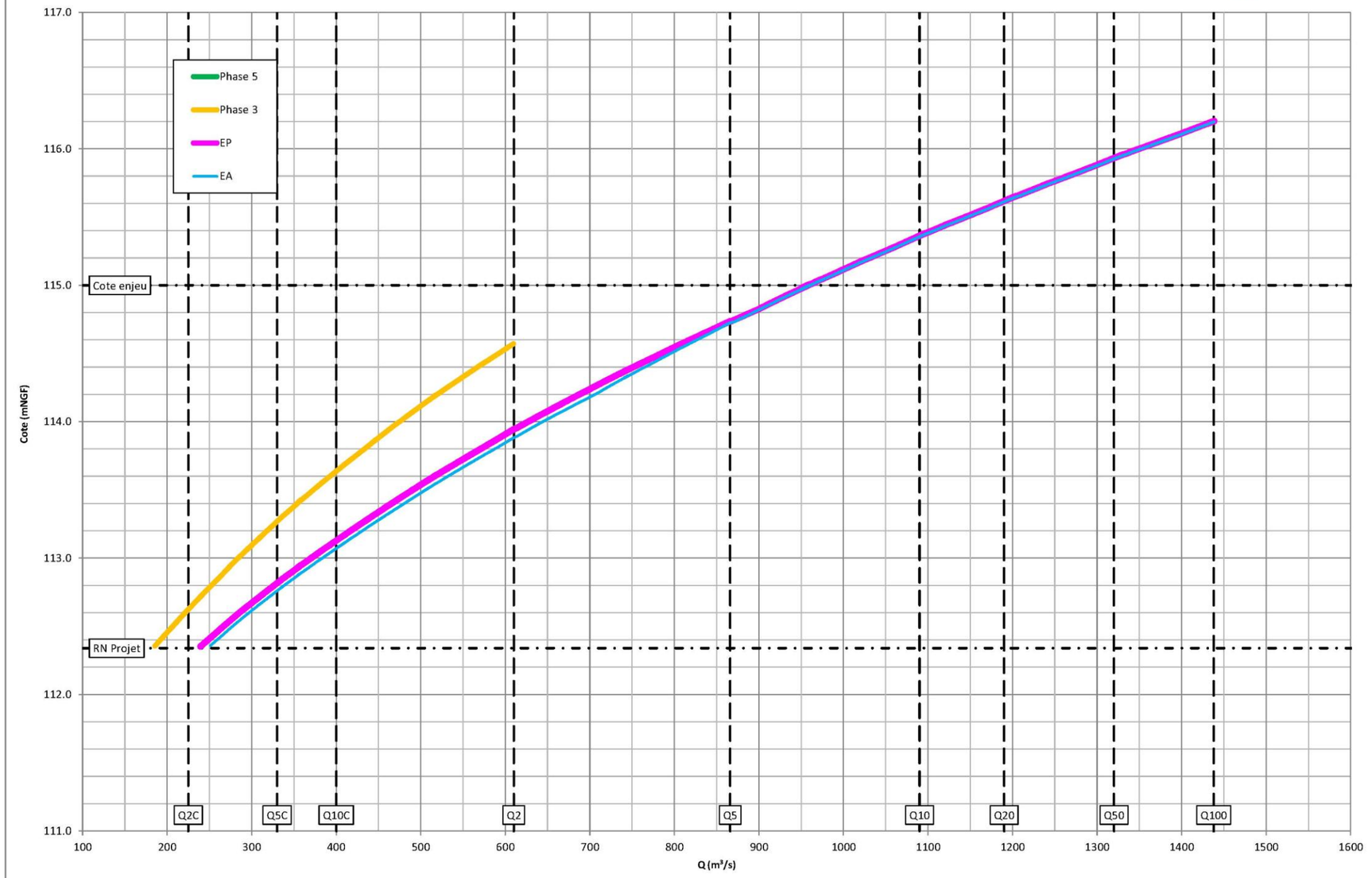


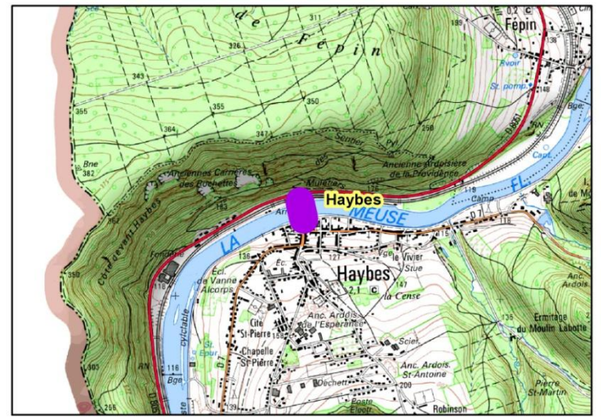
Relation hauteur/débit barrages effacés. Fumay aval



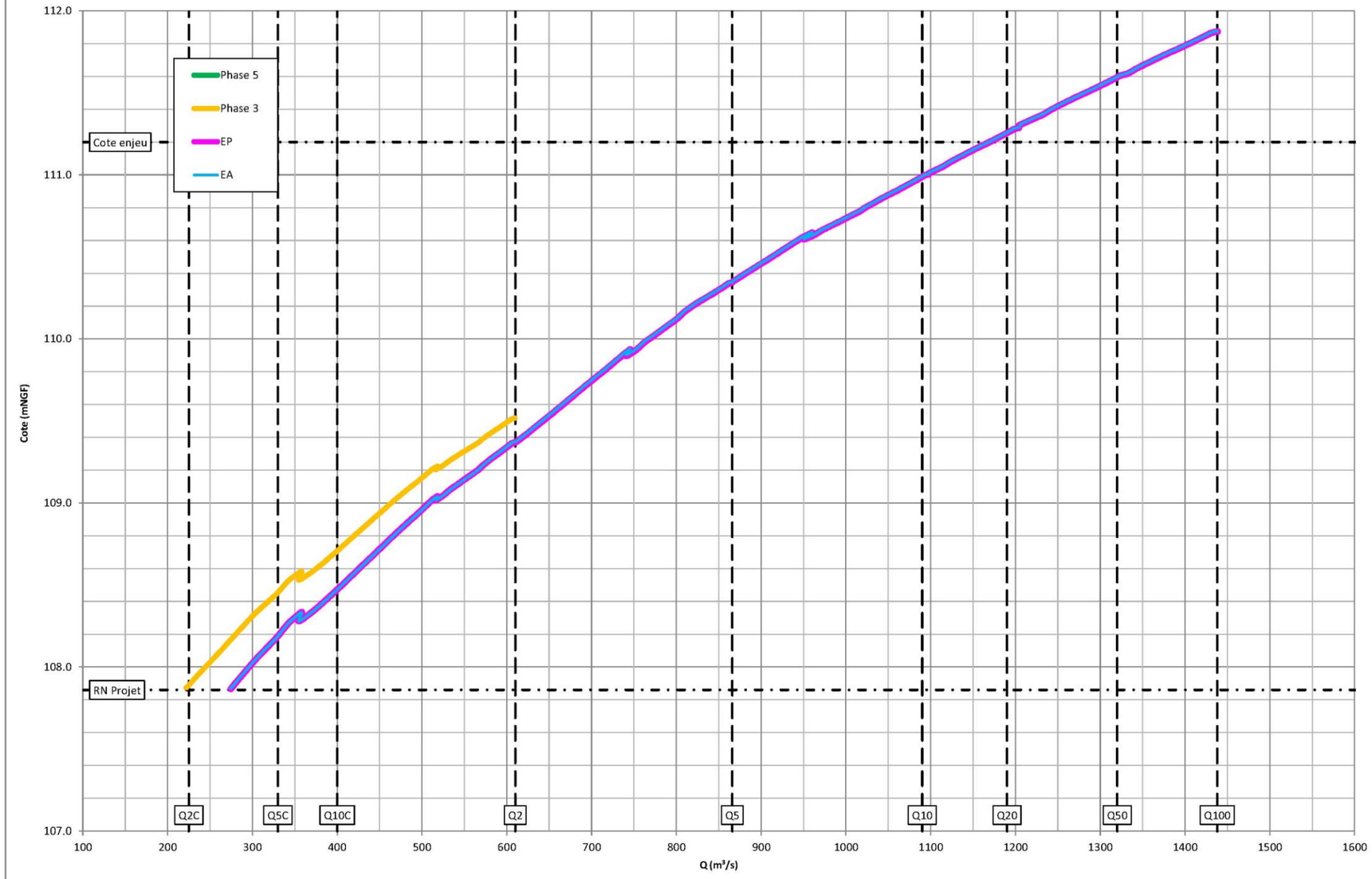


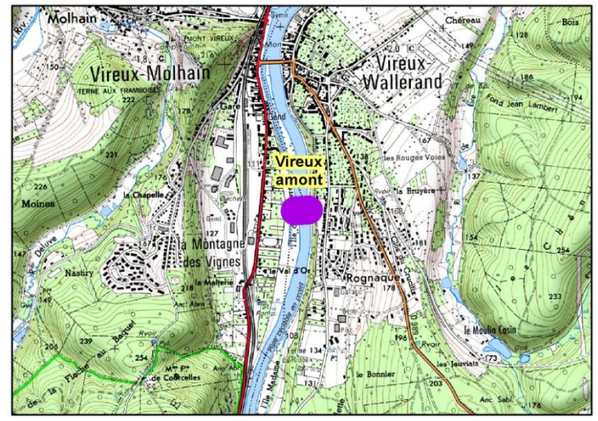
Relation hauteur/débit barrages effacés. Haybes



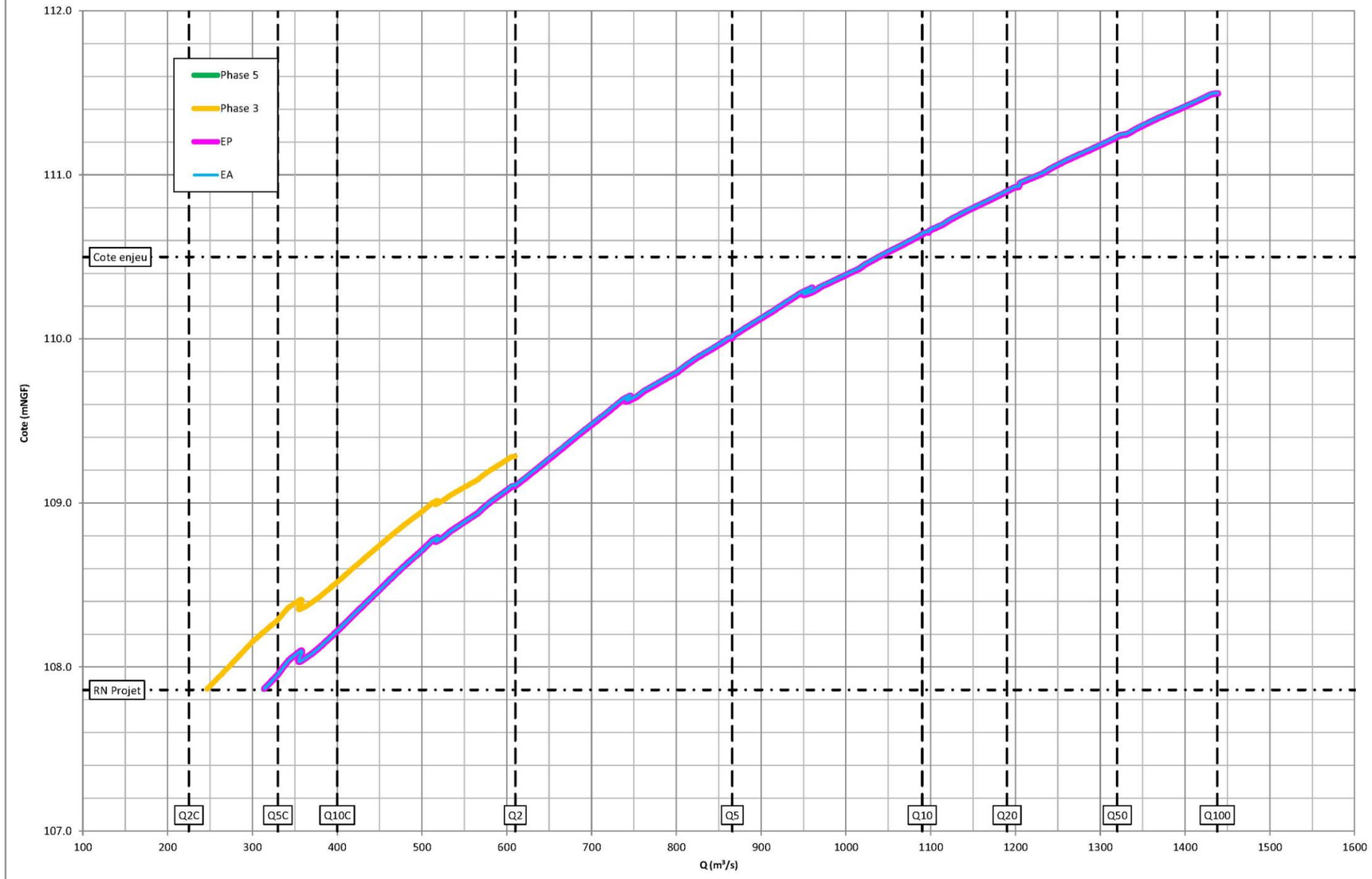


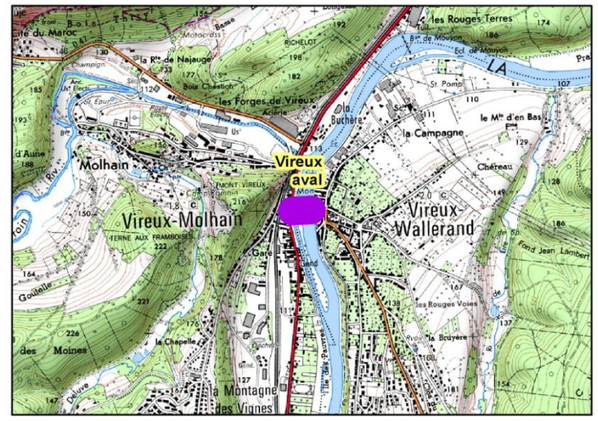
Relation hauteur/débit barrages effacés. Vireux amont



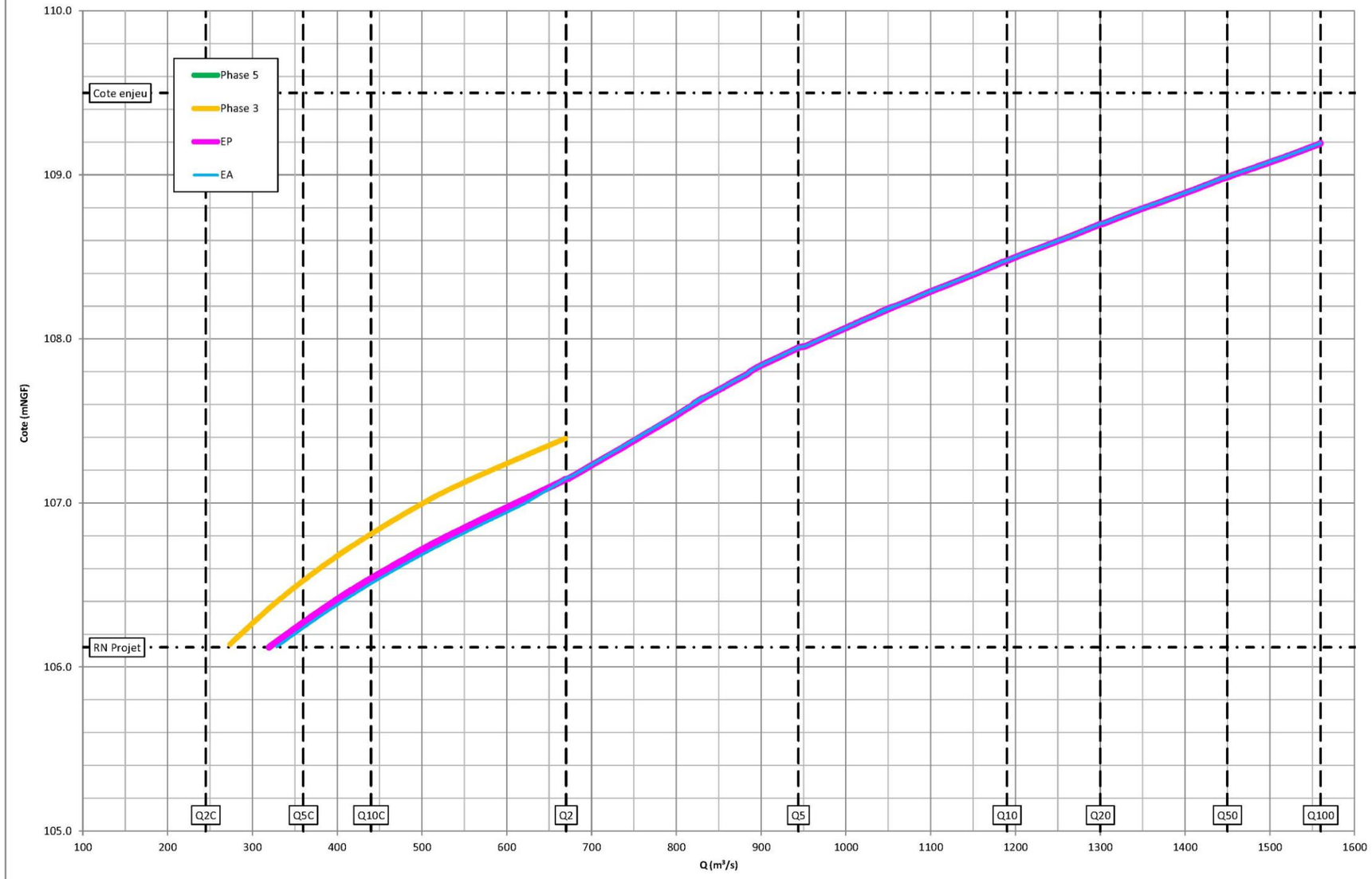


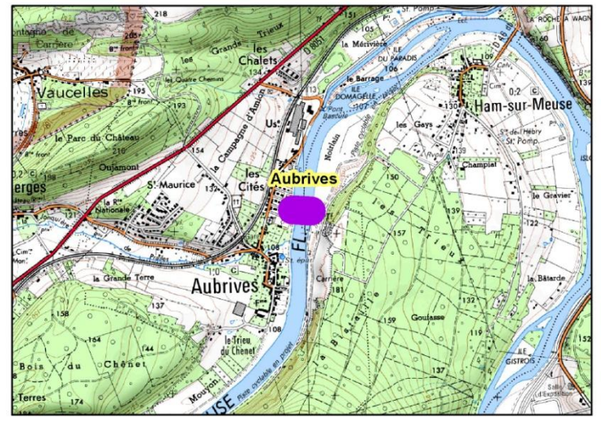
Relation hauteur/débit barrages effacés. Vireux aval



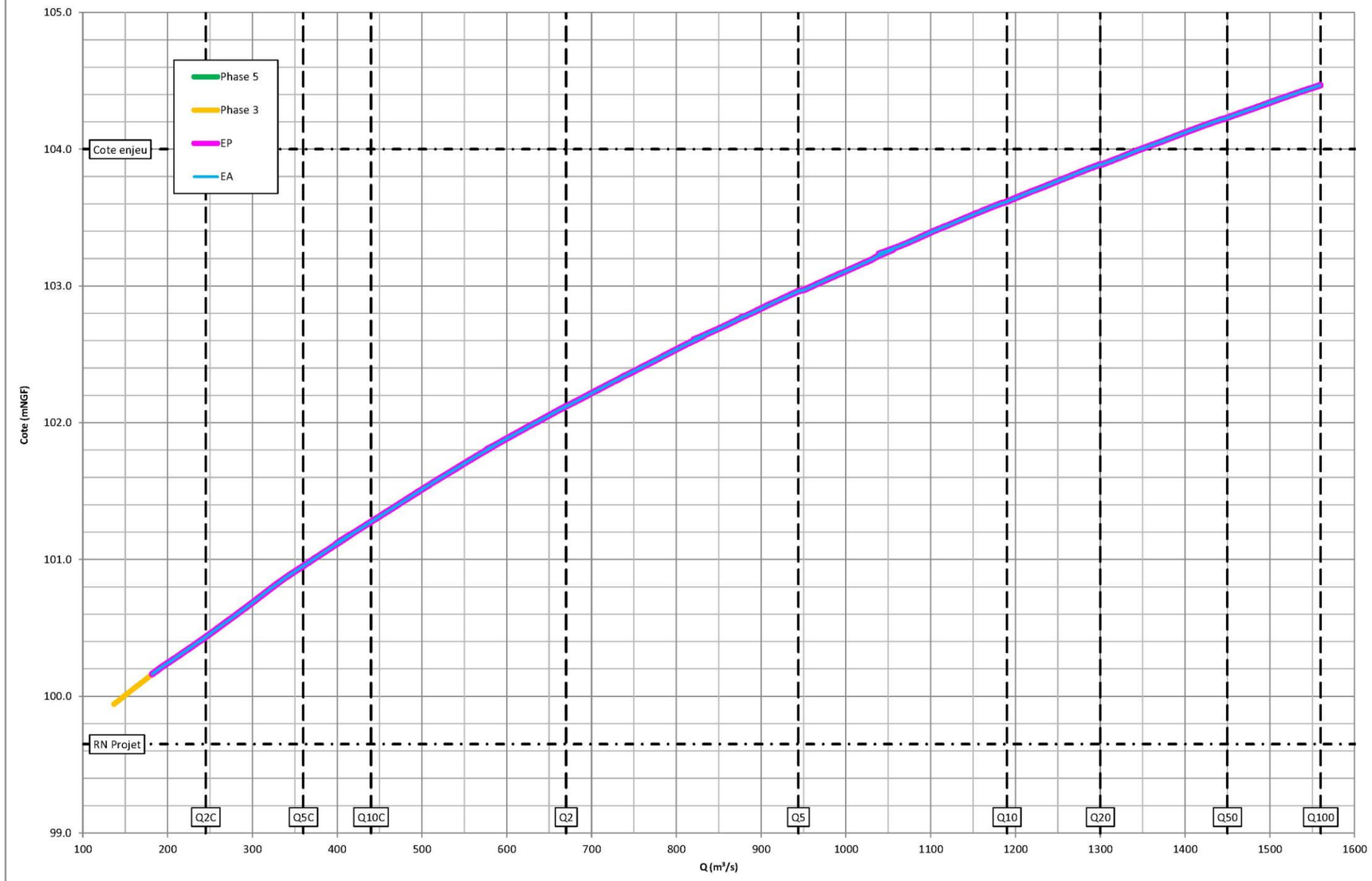


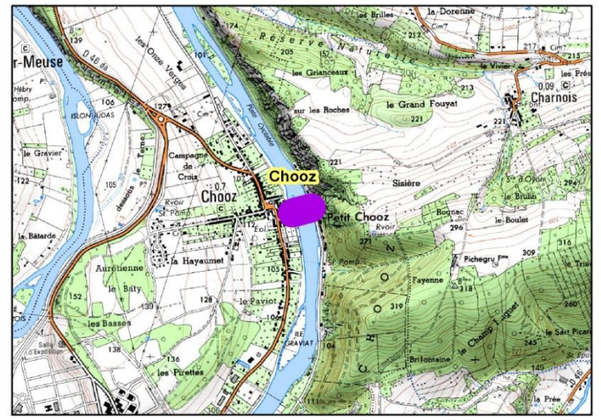
Relation hauteur/débit barrages effacés. Aubrives



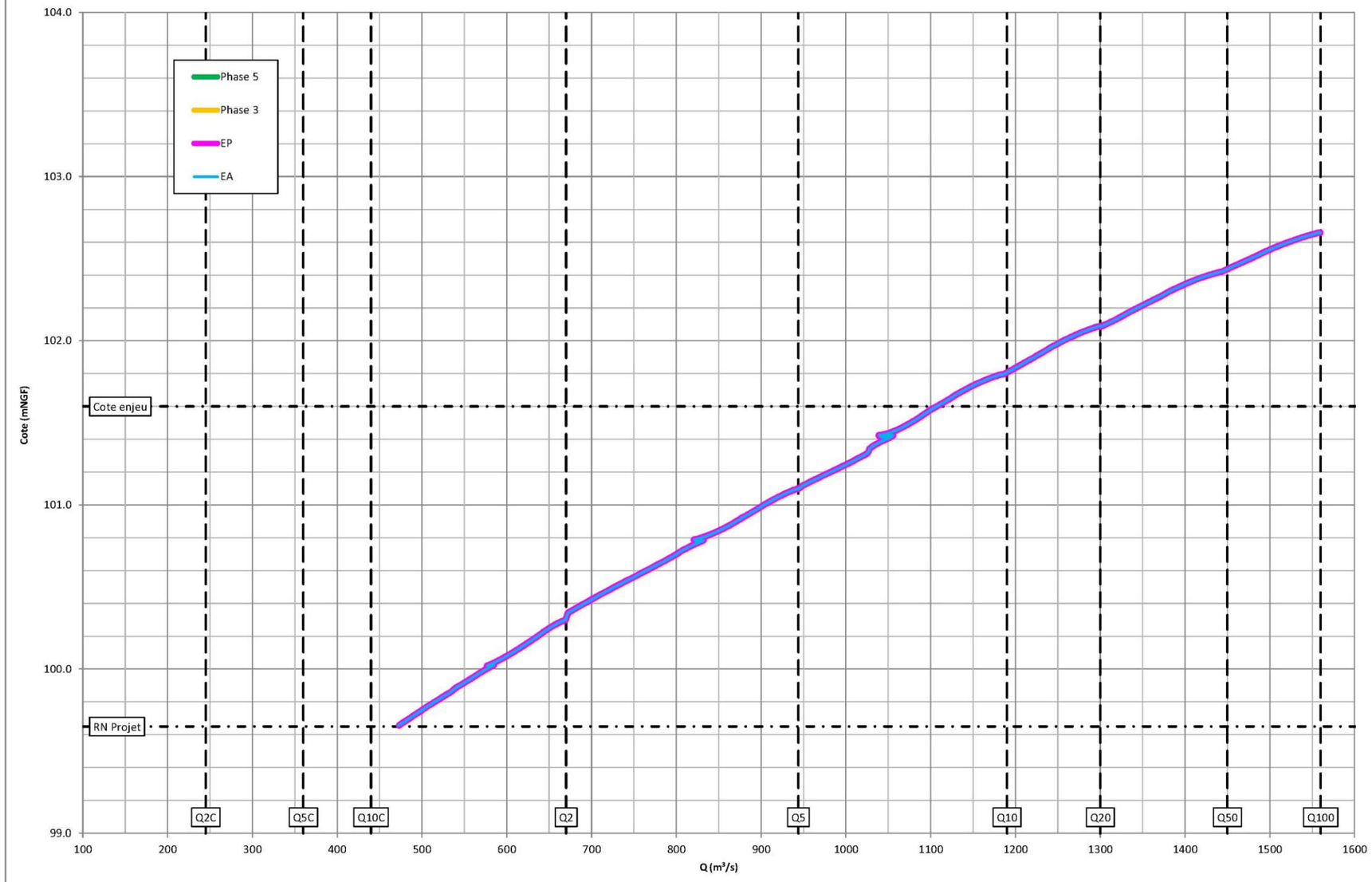


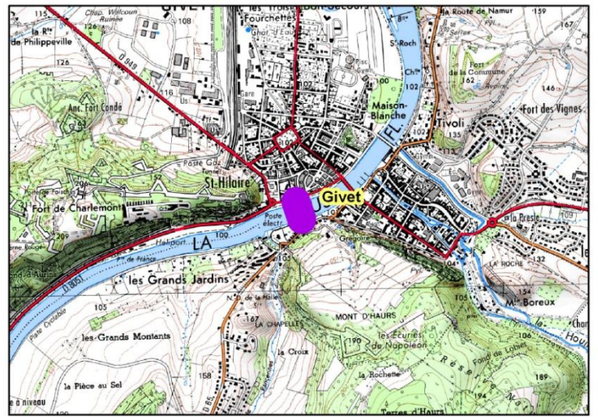
Relation hauteur/débit barrages effacés. Chooz





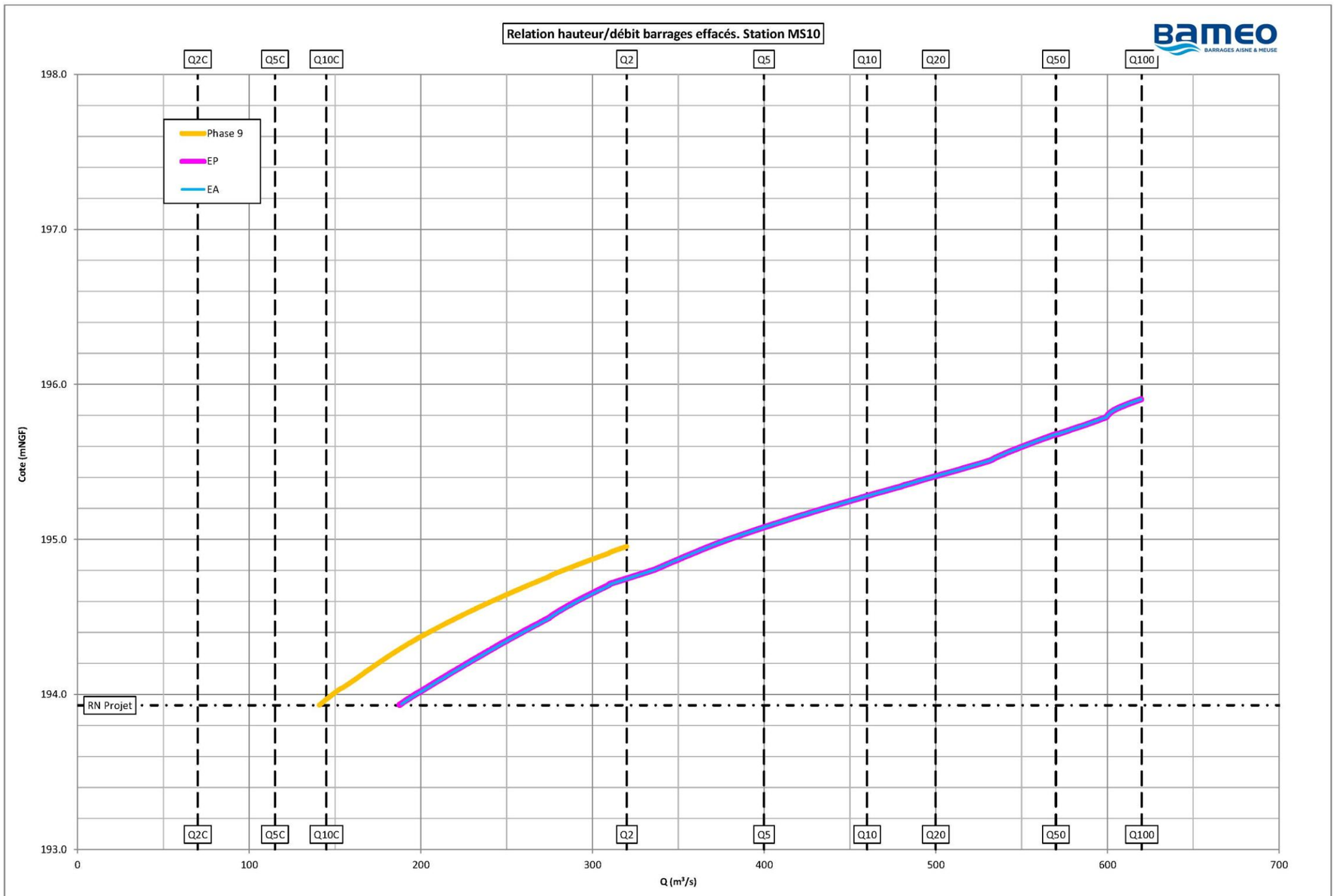
Relation hauteur/débit barrages effacés. Givet

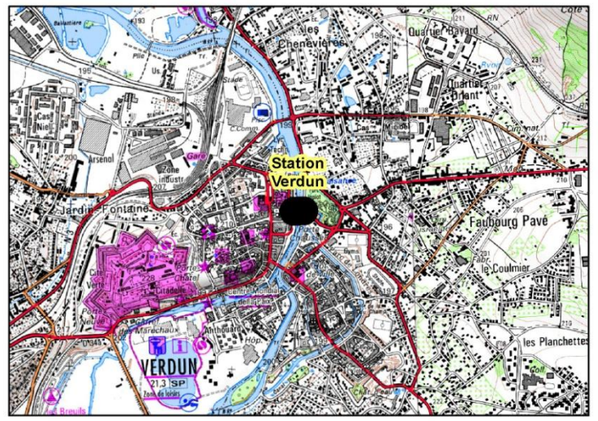




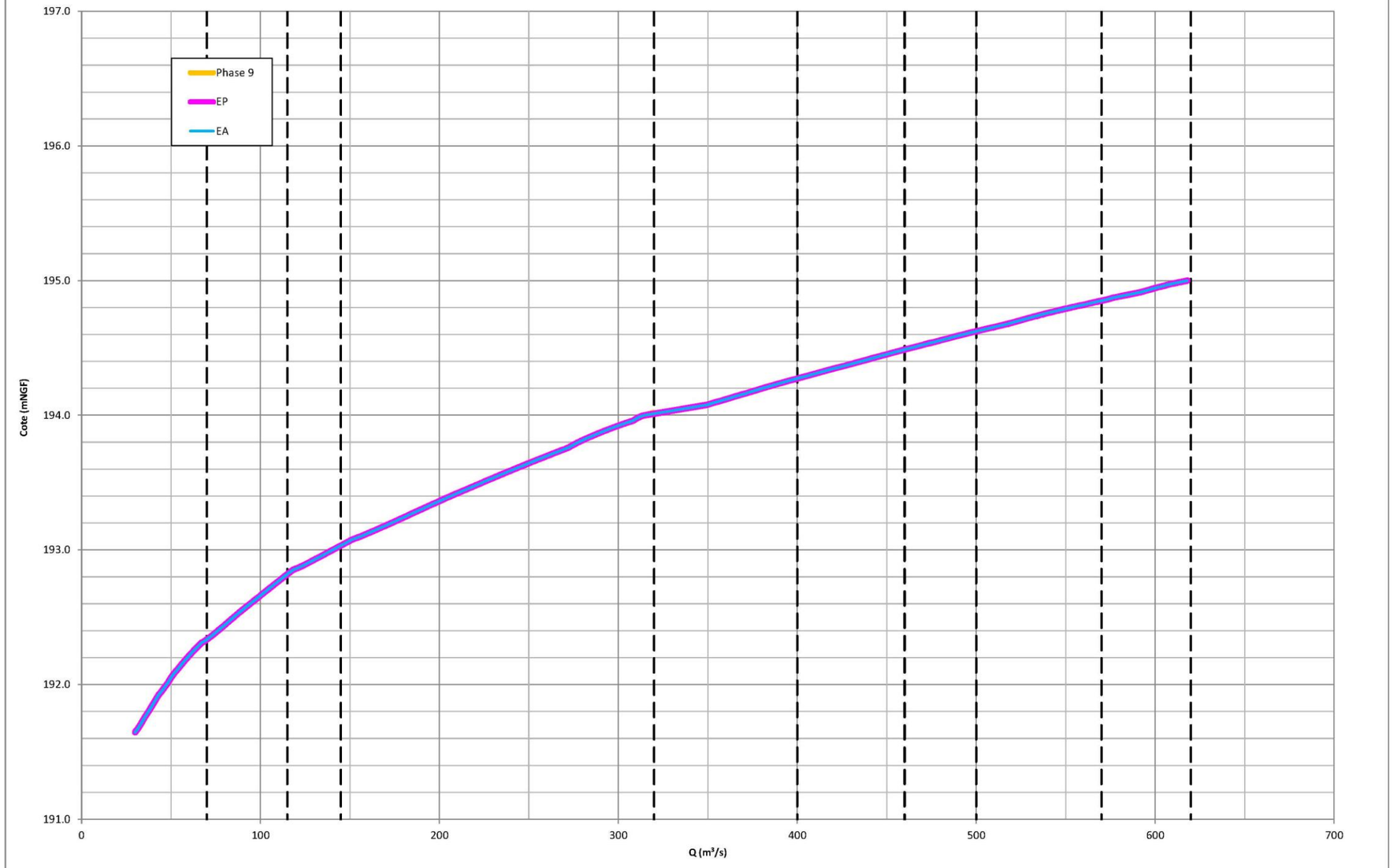
4.8. ANNEXE 8 : RELATIONS DEBIT / COTE AU DROIT DES STATIONS HYDROMETRIQUES (PROJET AVP)

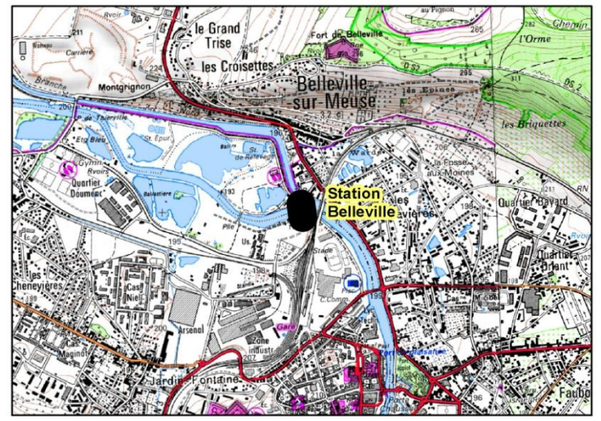
Relation hauteur/débit barrages effacés. Station MS10



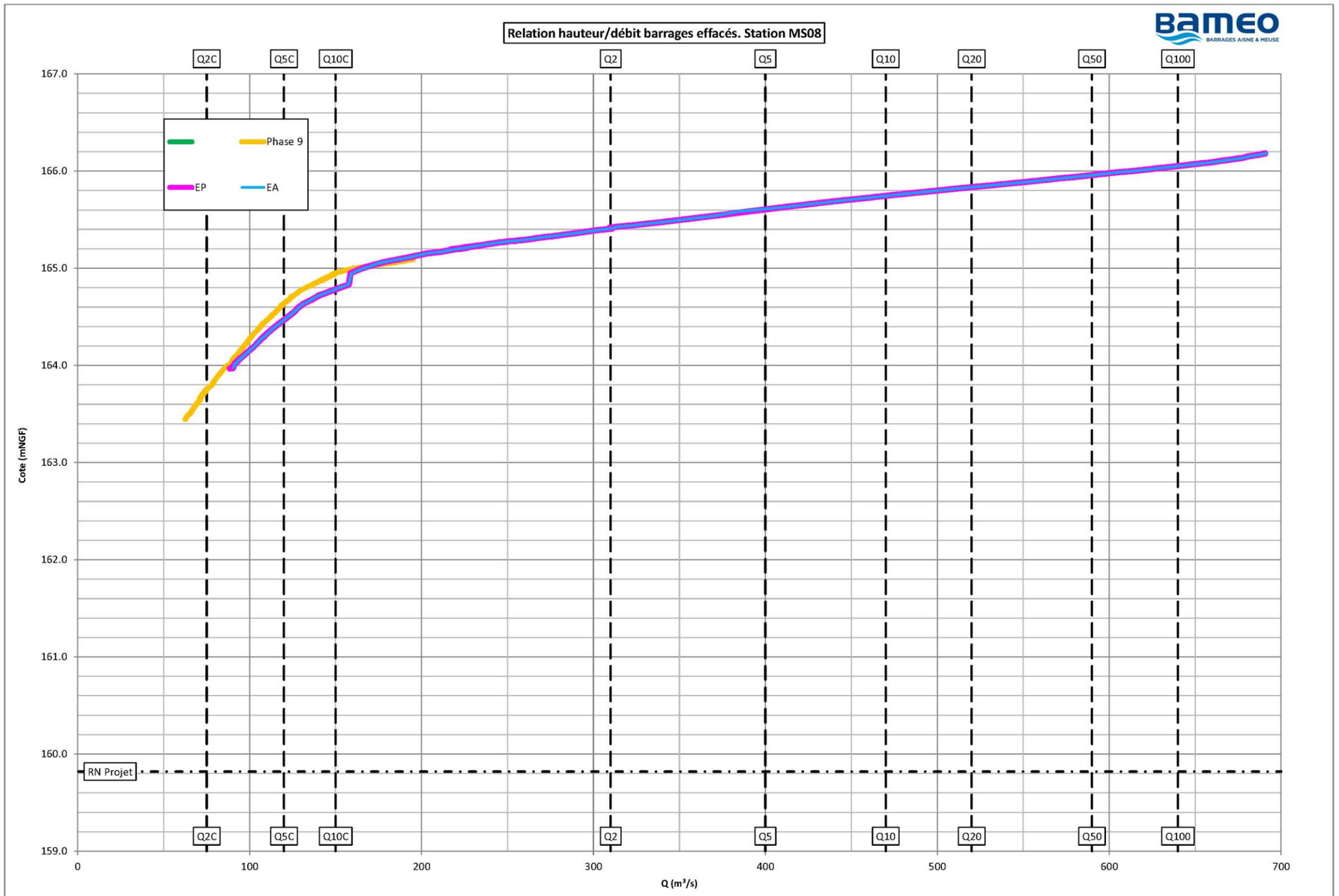


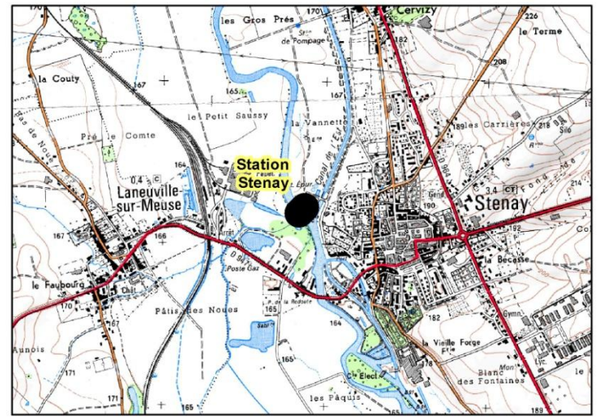
Relation hauteur/débit barrages effacés. Station MS09



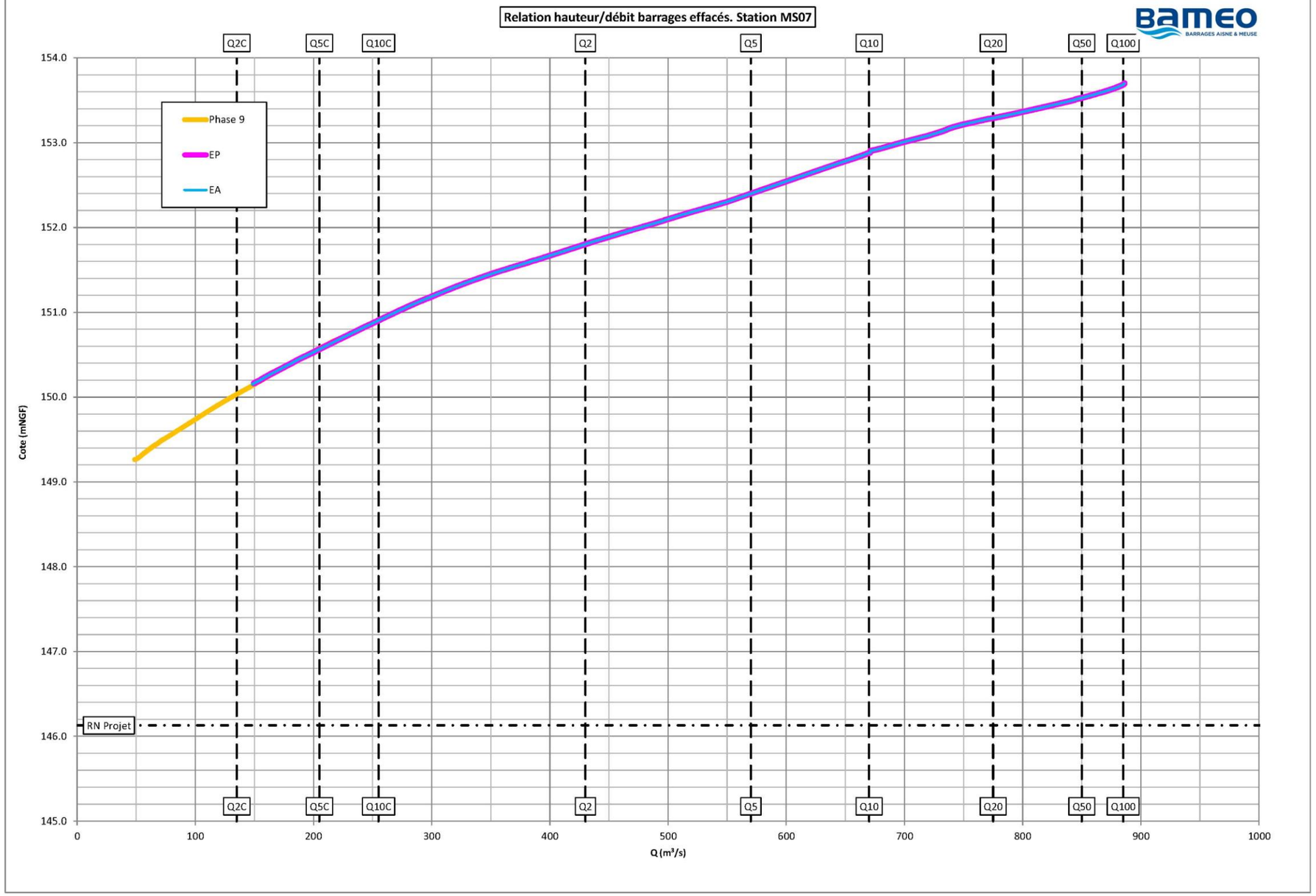


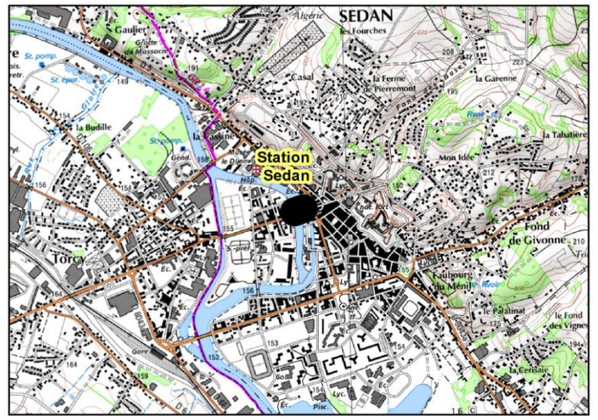
Relation hauteur/débit barrages effacés. Station MS08



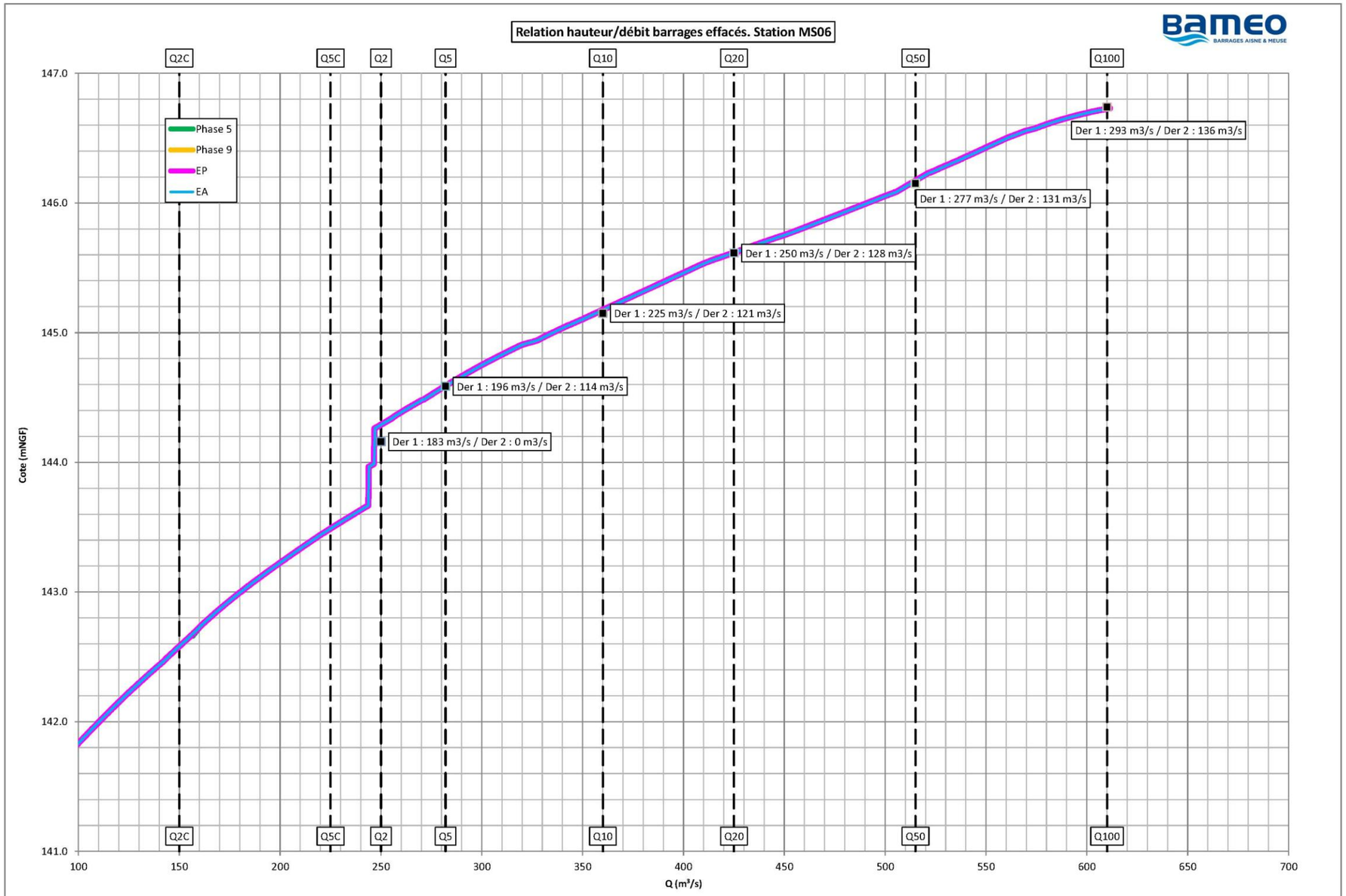


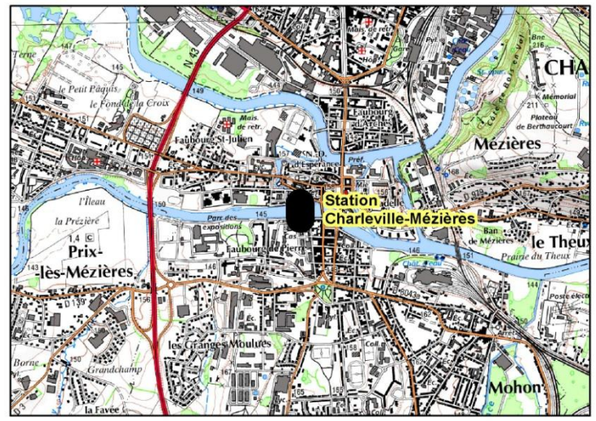
Relation hauteur/débit barrages effacés. Station MS07



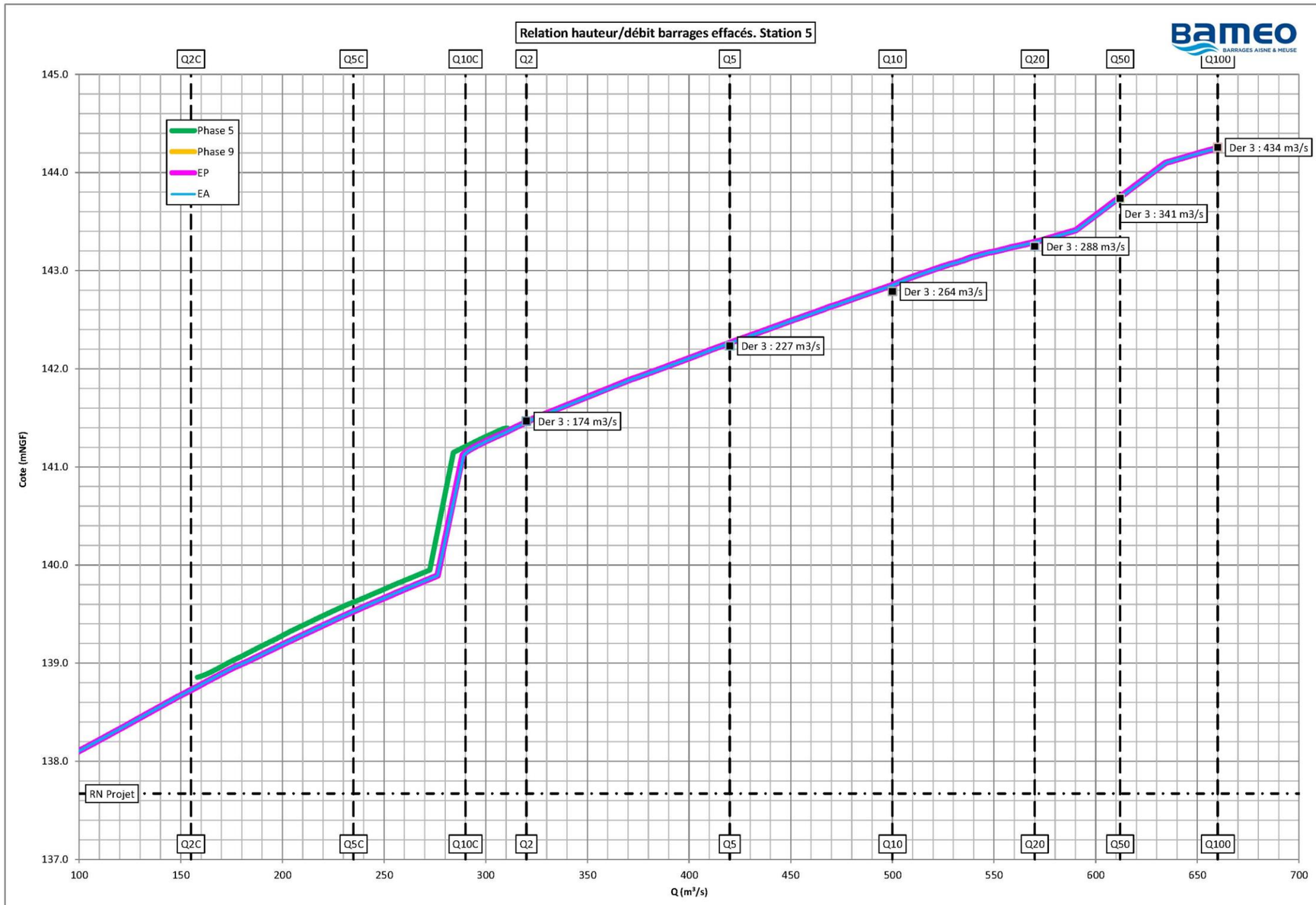


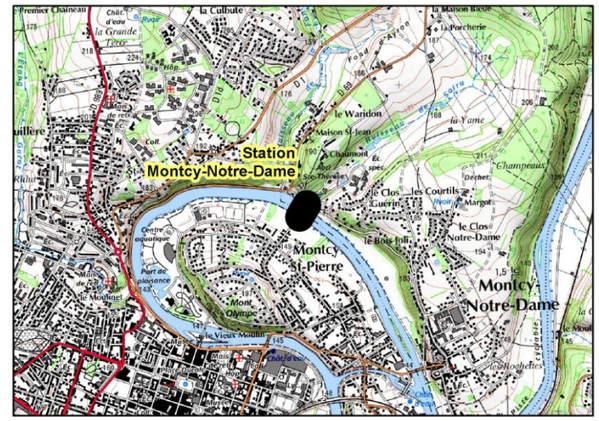
Relation hauteur/débit barrages effacés. Station MS06



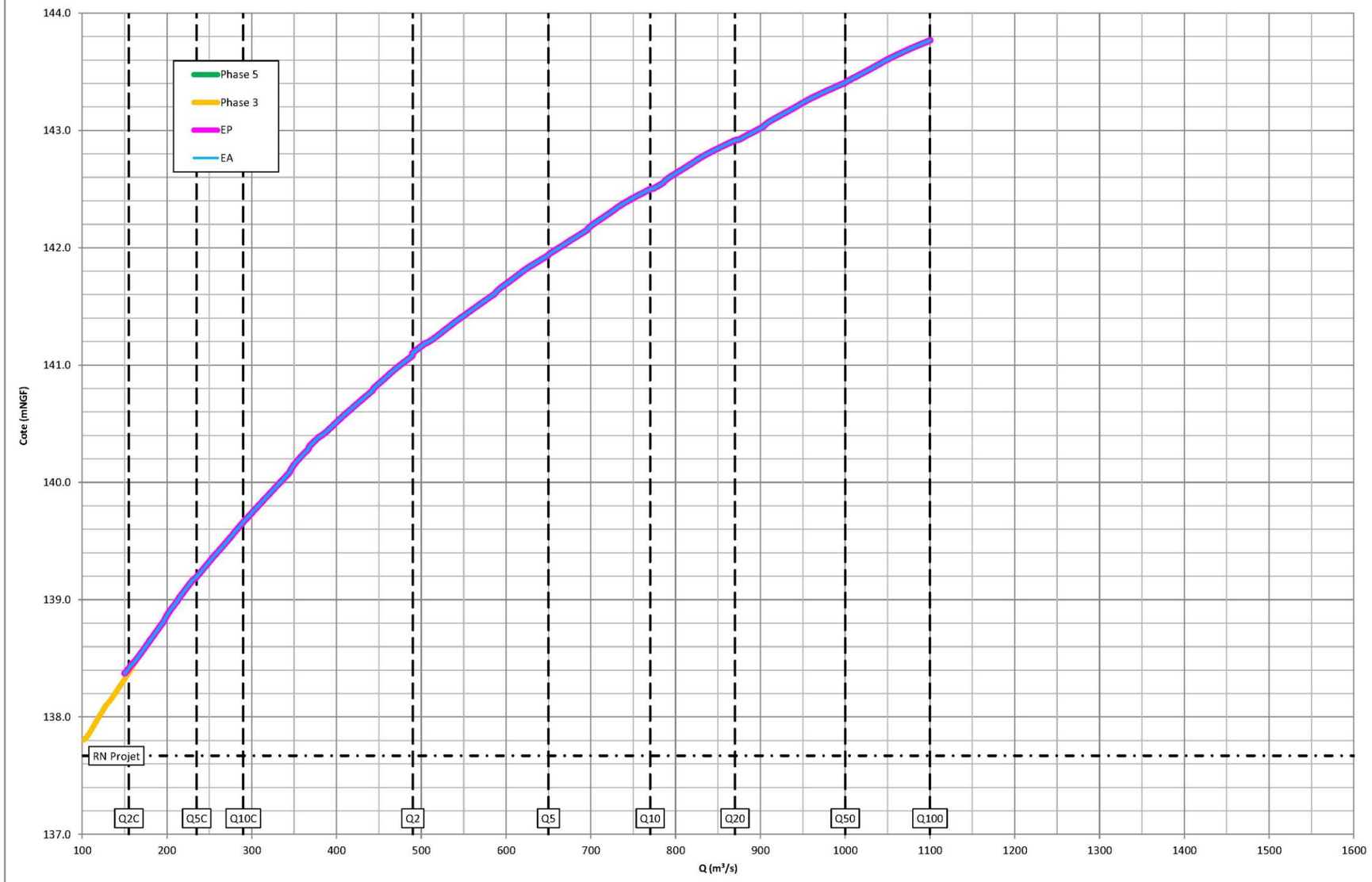


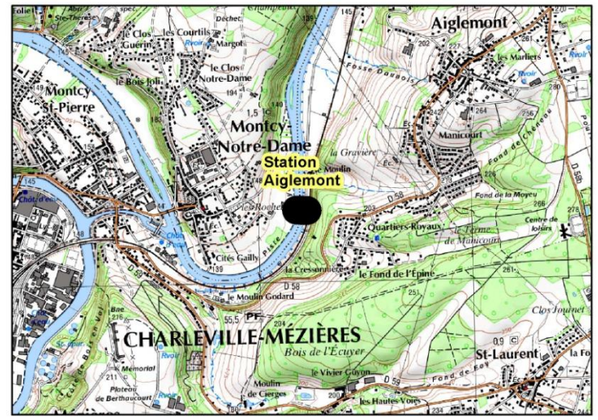
Relation hauteur/débit barrages effacés. Station 5



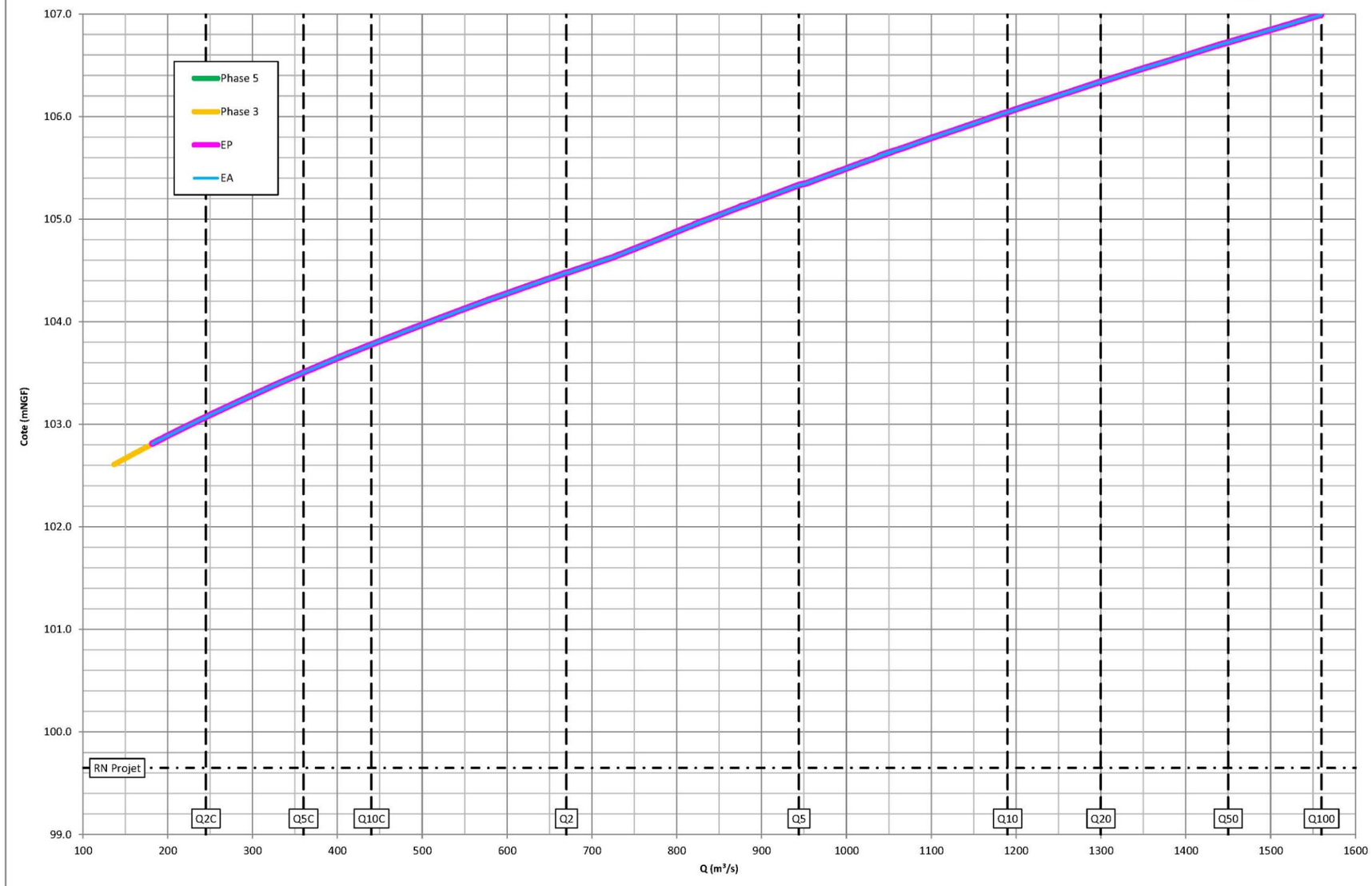


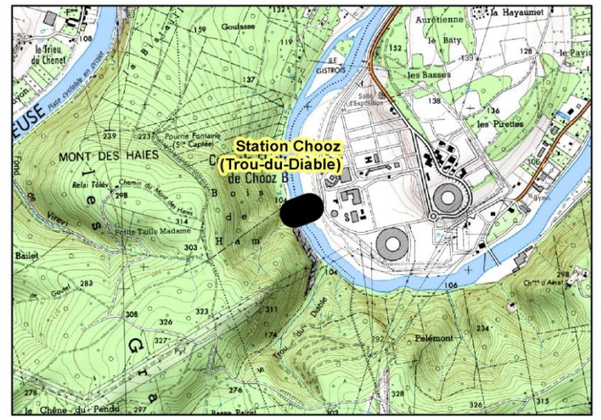
Relation hauteur/débit barrages effacés. Station MS04



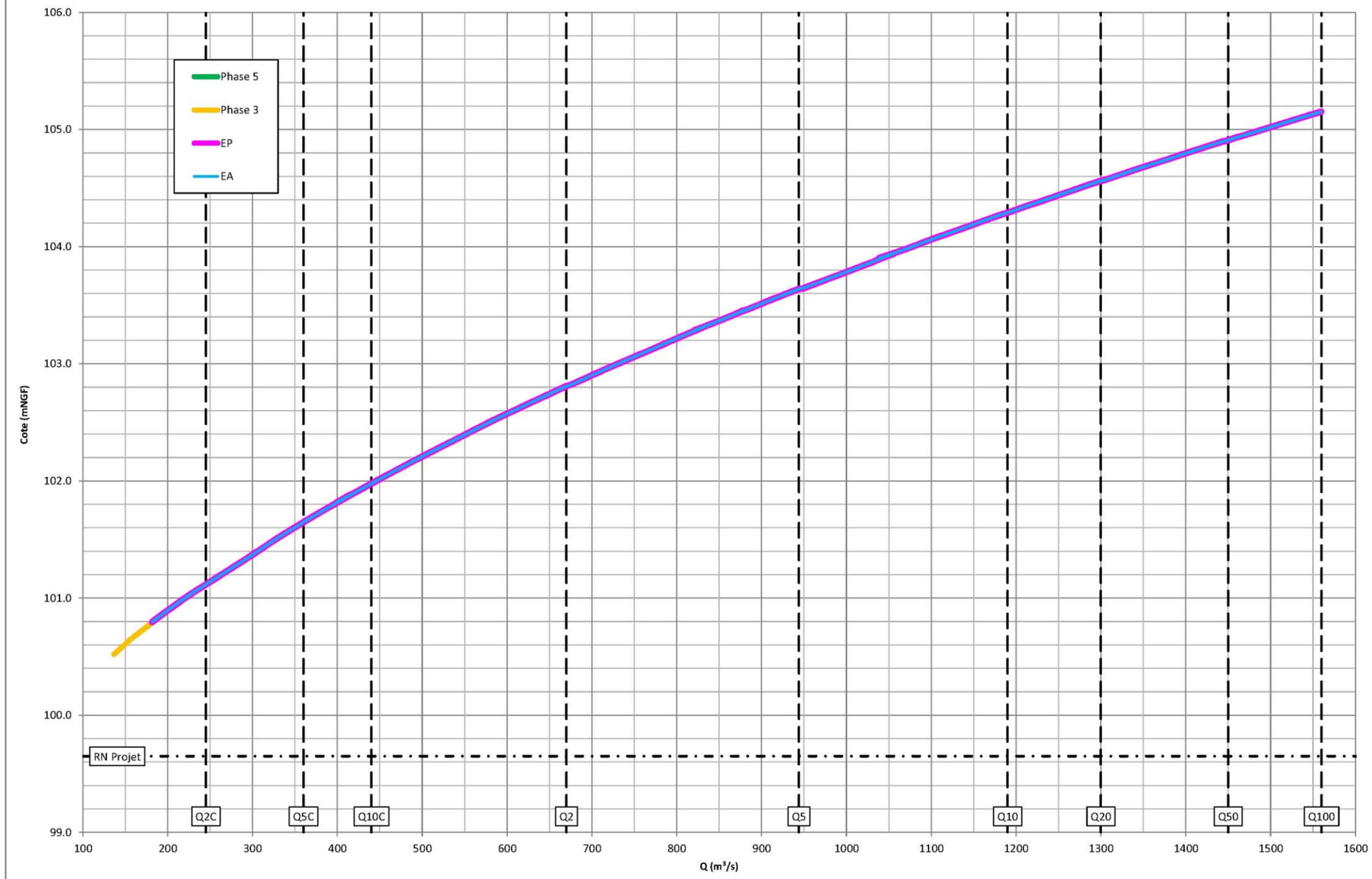


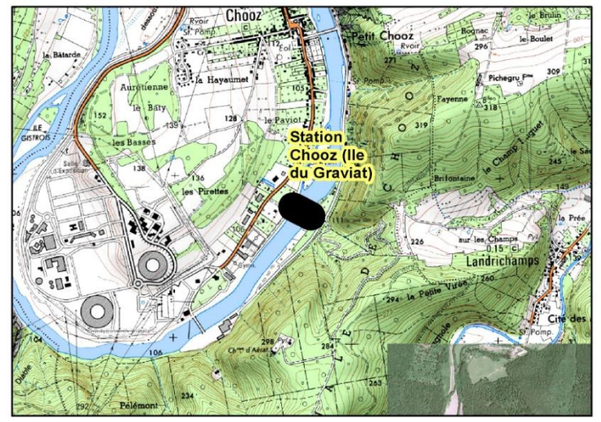
Relation hauteur/débit barrages effacés. Station MS02





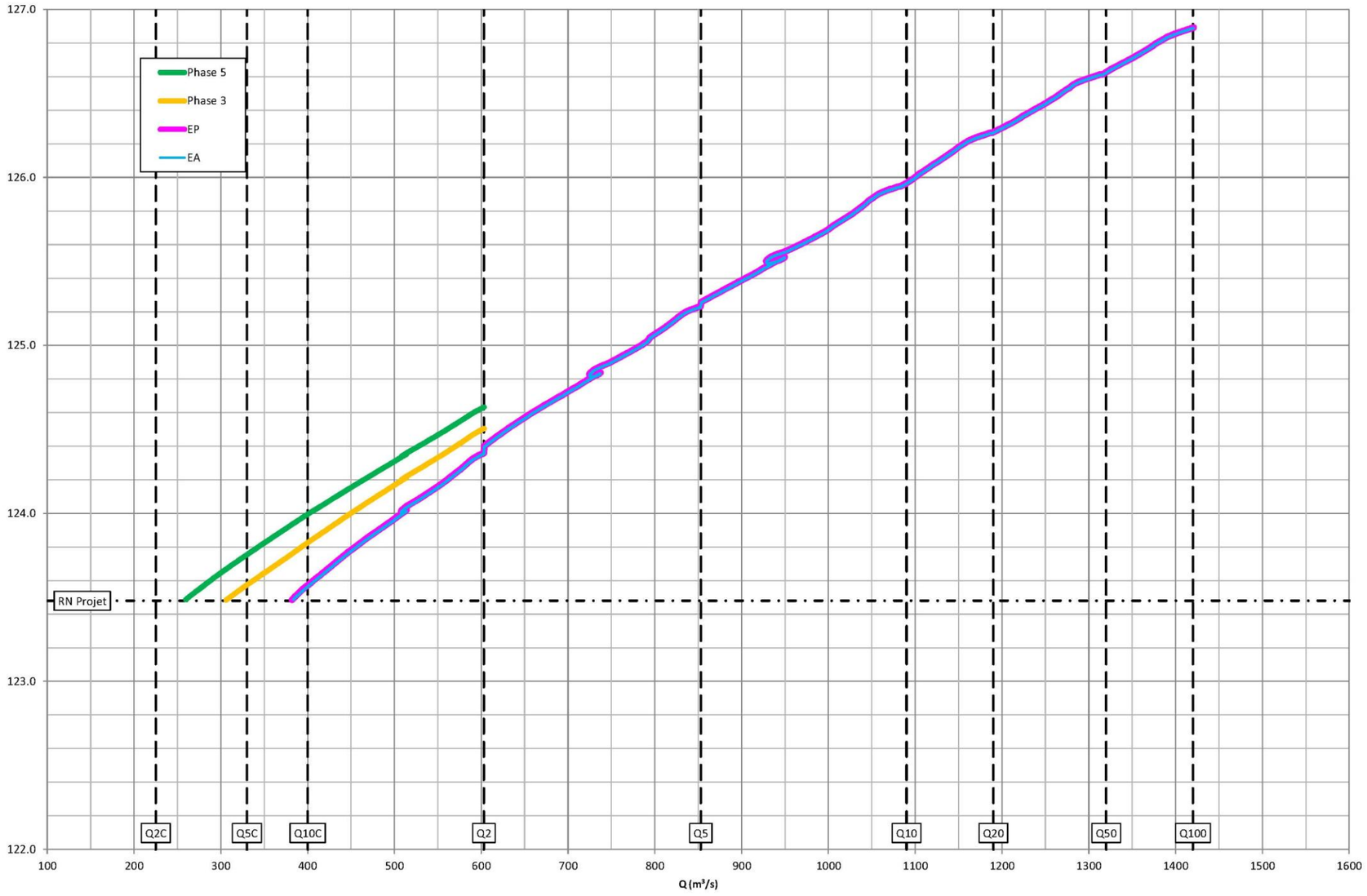
Relation hauteur/débit barrages effacés. Station MS01

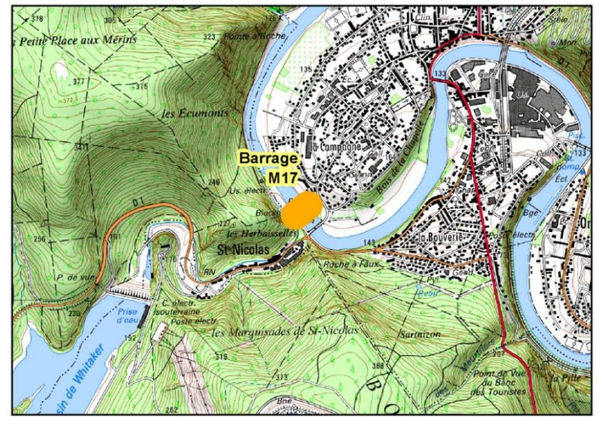




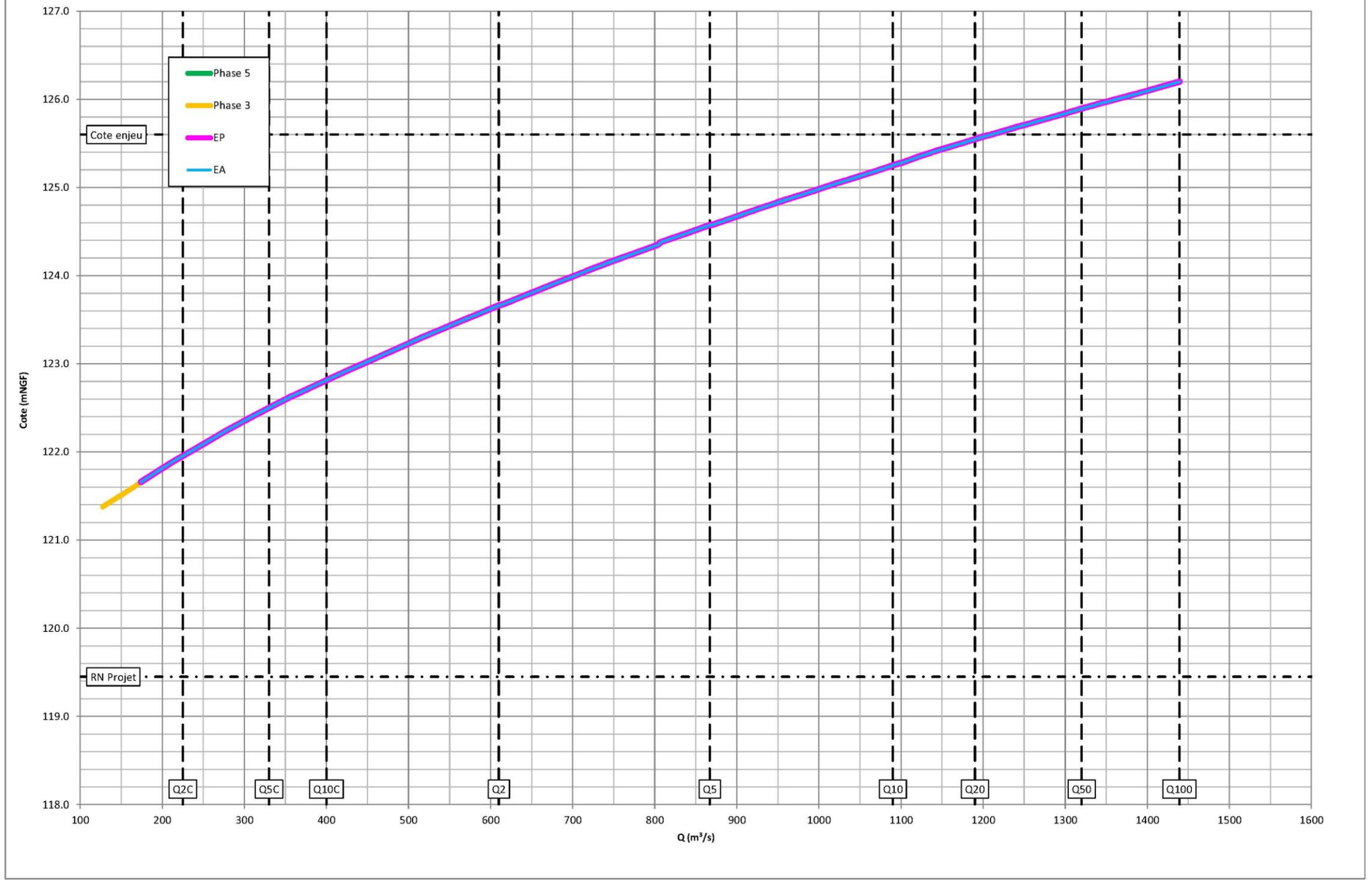
4.9. ANNEXE 9 : RELATIONS DEBIT / COTE DE M17 A M24 (PROJET « OPTIMISE » STADE PRO)

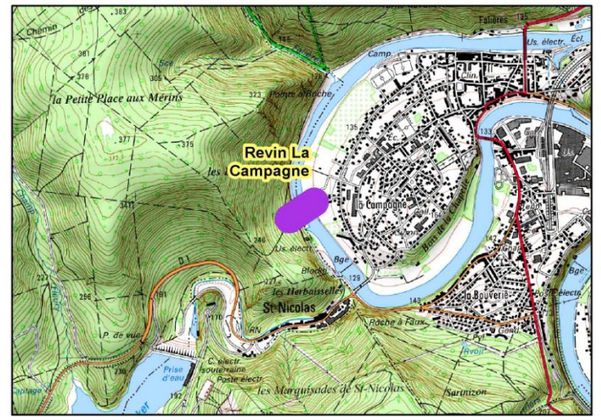
Relation hauteur/débit barrages effacés. M17 amont



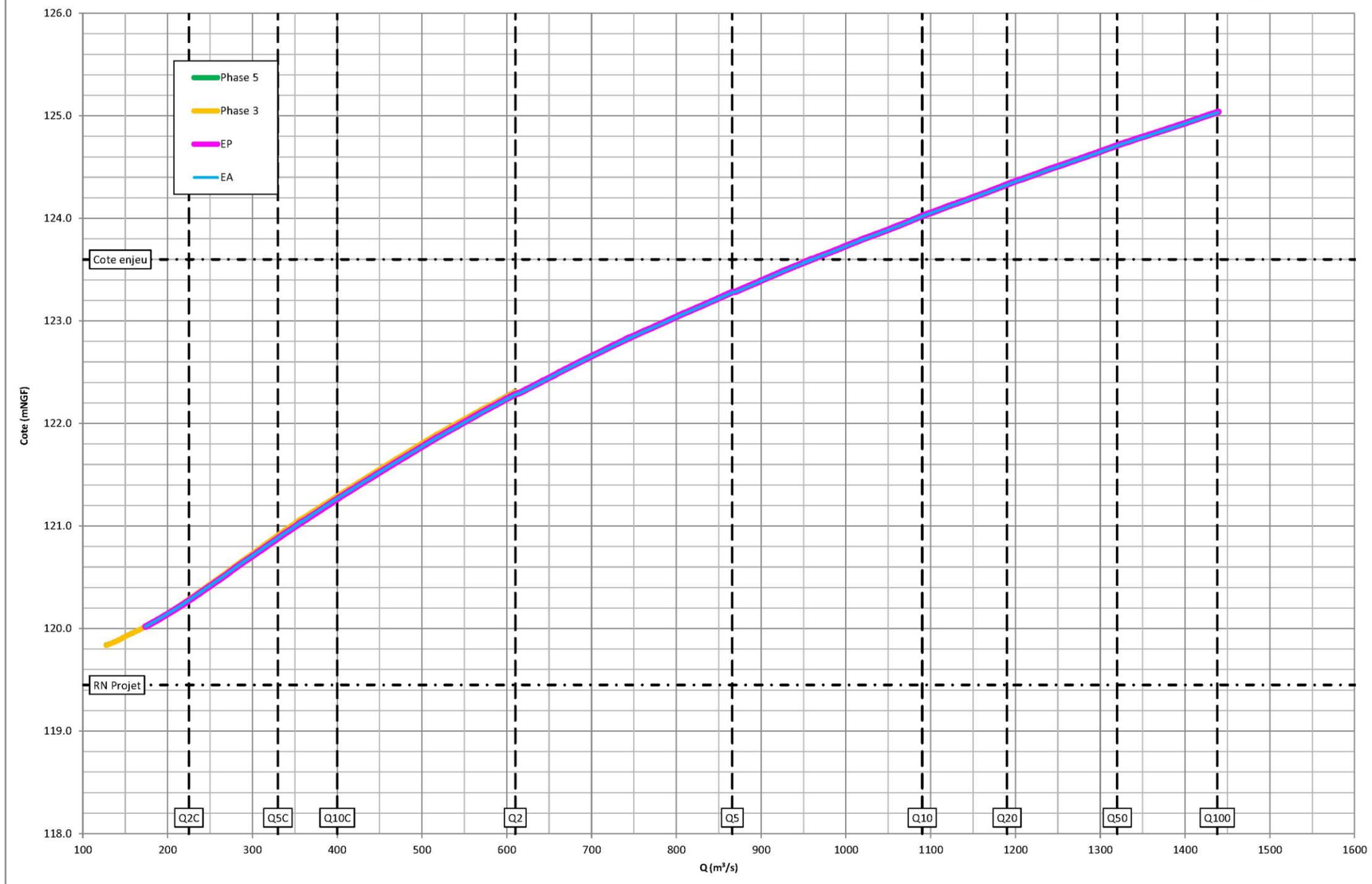


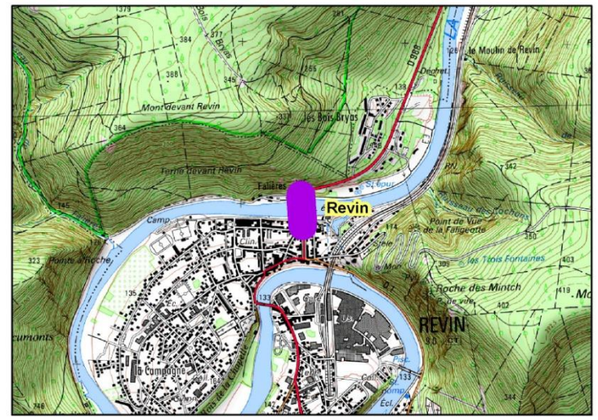
Relation hauteur/débit barrages effacés. Revin La campagne



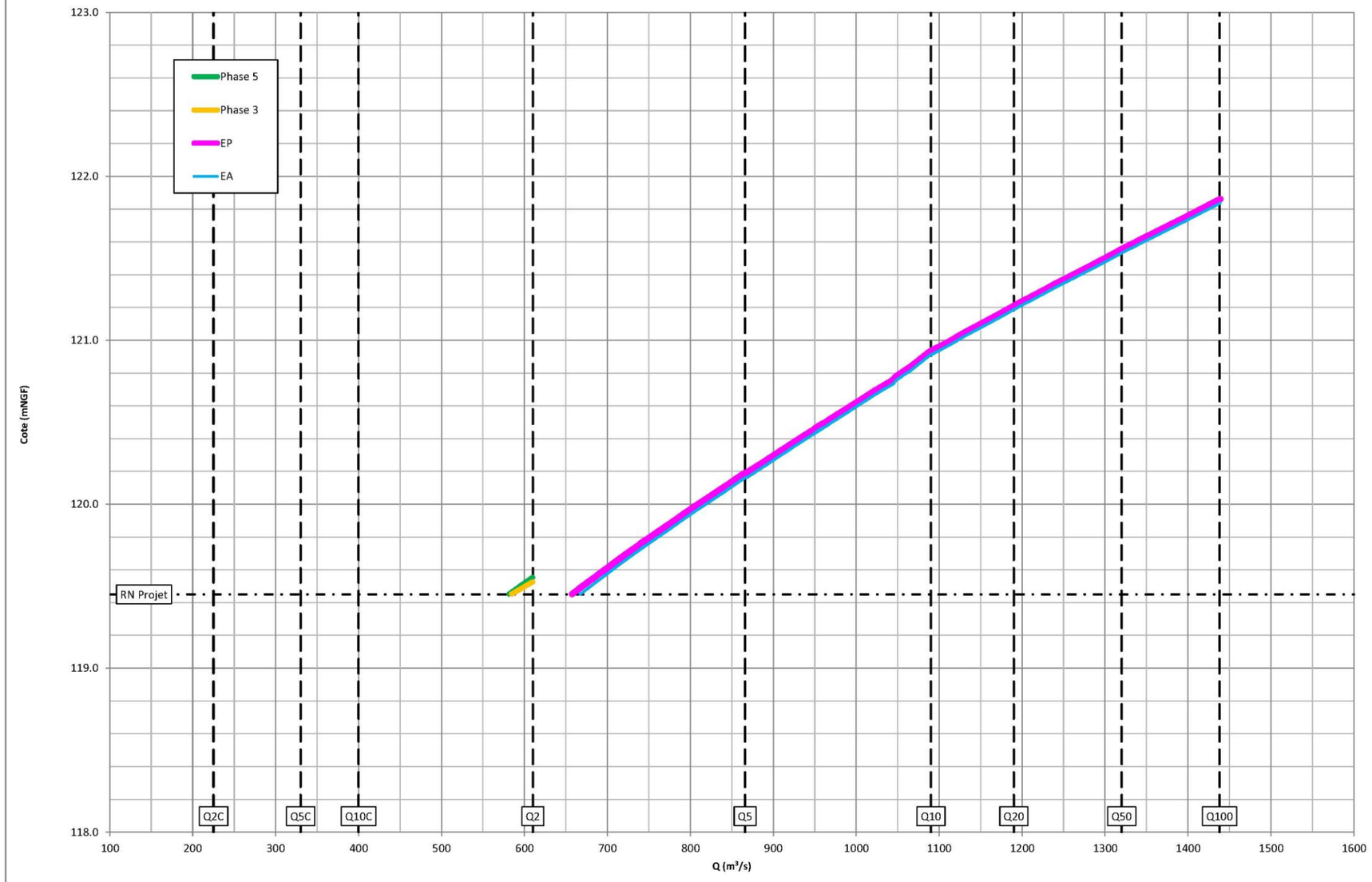


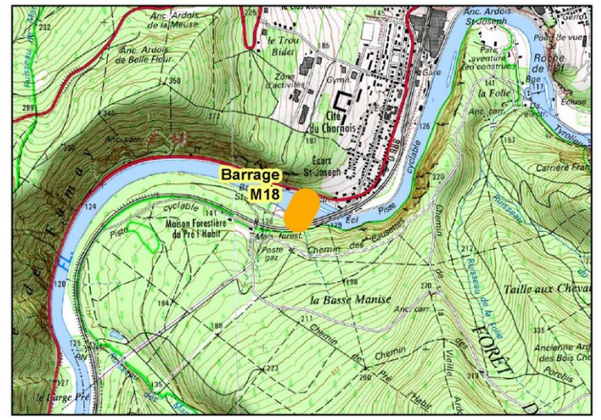
Relation hauteur/débit barrages effacés. Revin aval



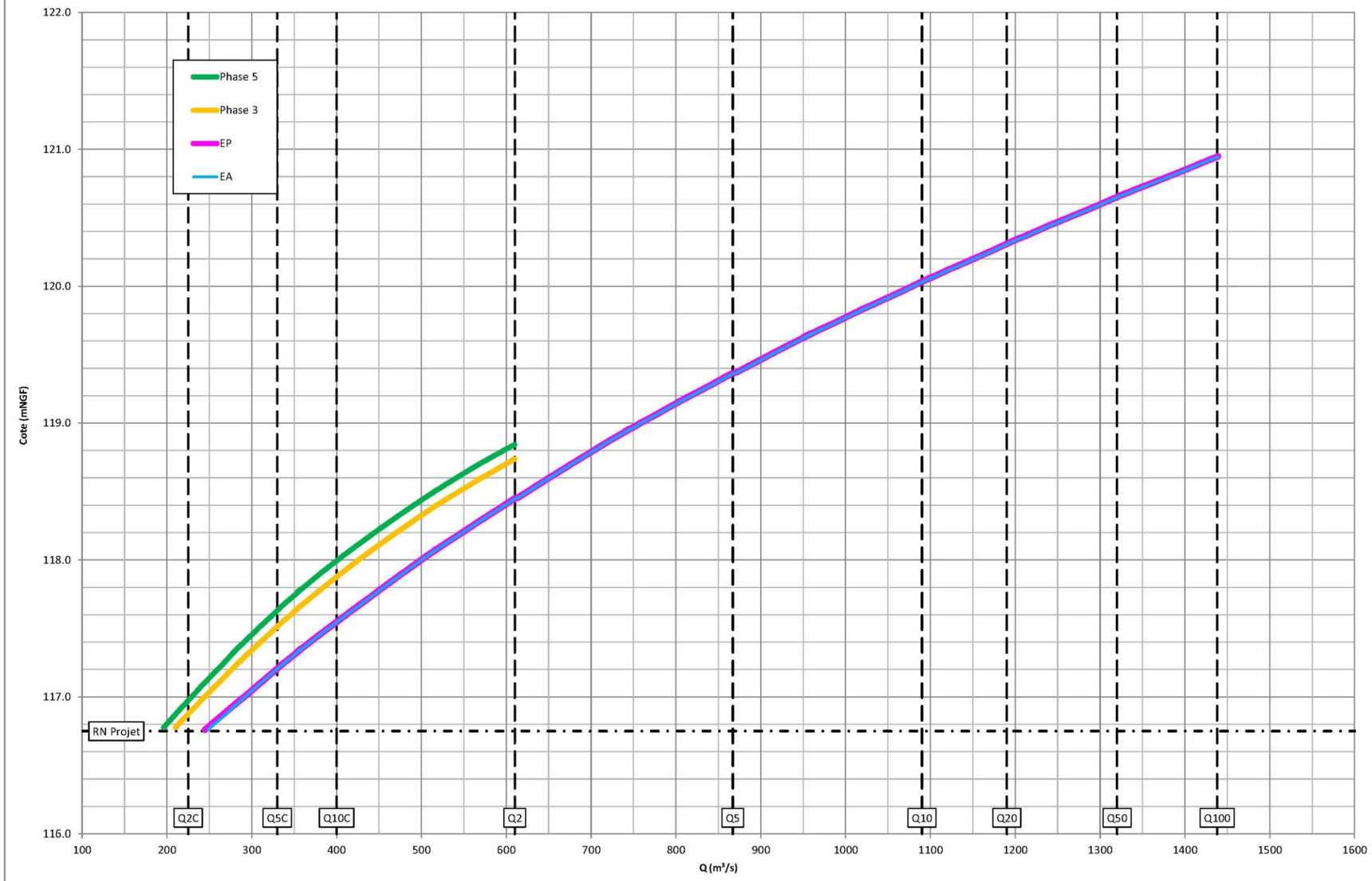


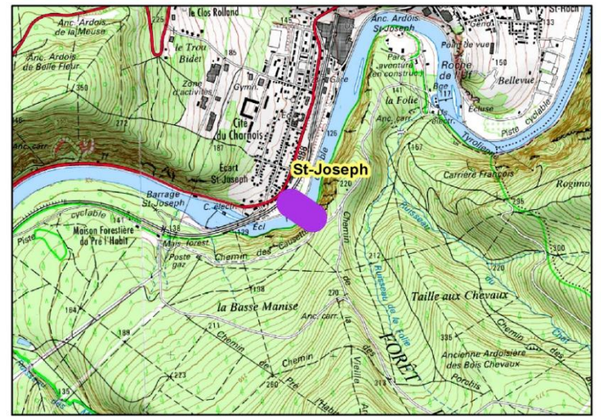
Relation hauteur/débit barrages effacés. M18 amont





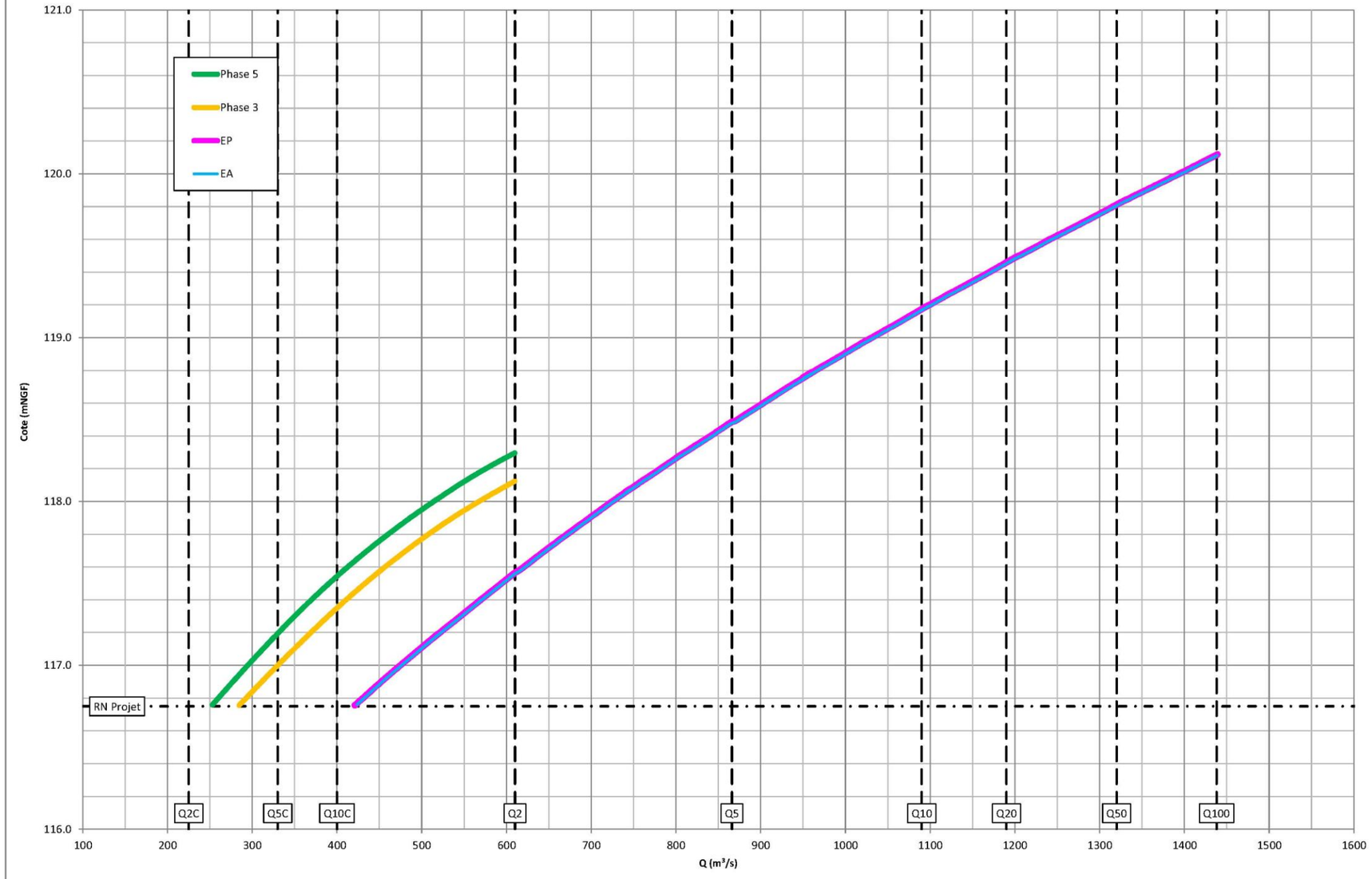
Relation hauteur/débit barrages effacés. St Joseph

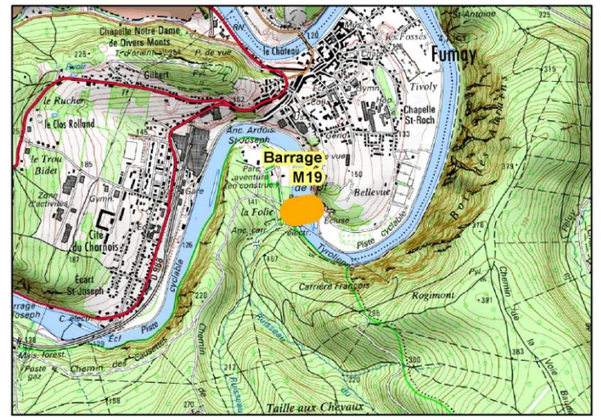




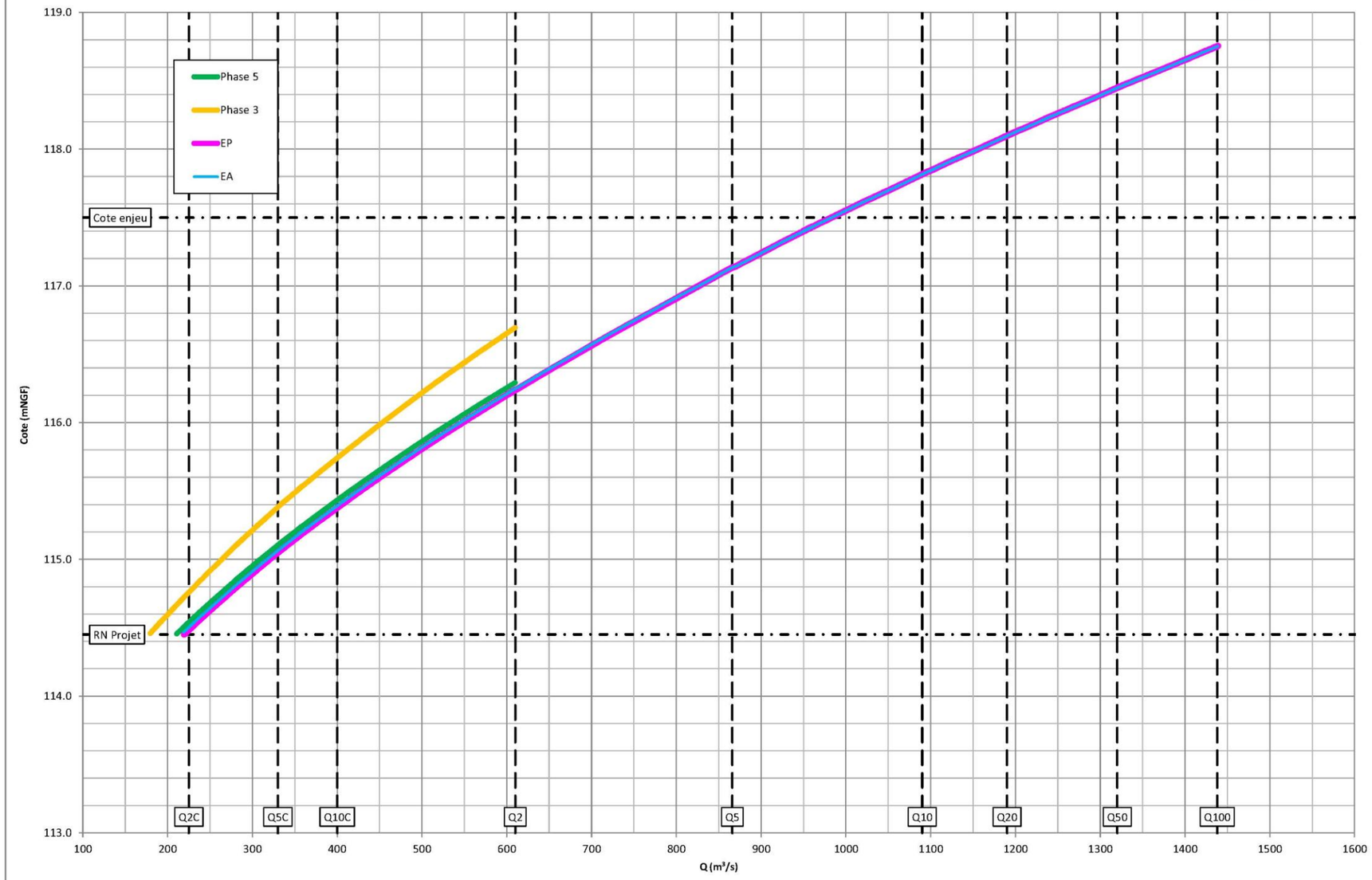
Relation hauteur/débit barrages effacés. M19 amont

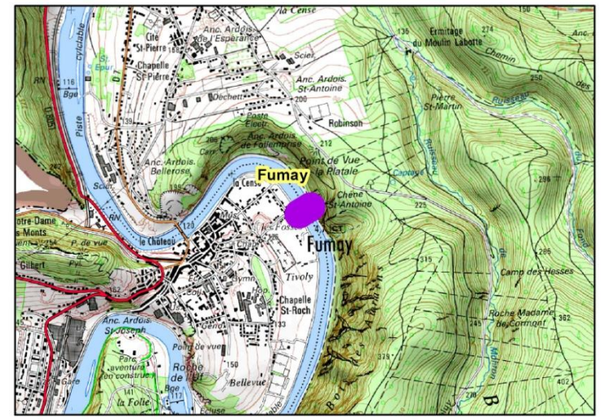
BAMEO
BARRAGES AISNE & MEUSE



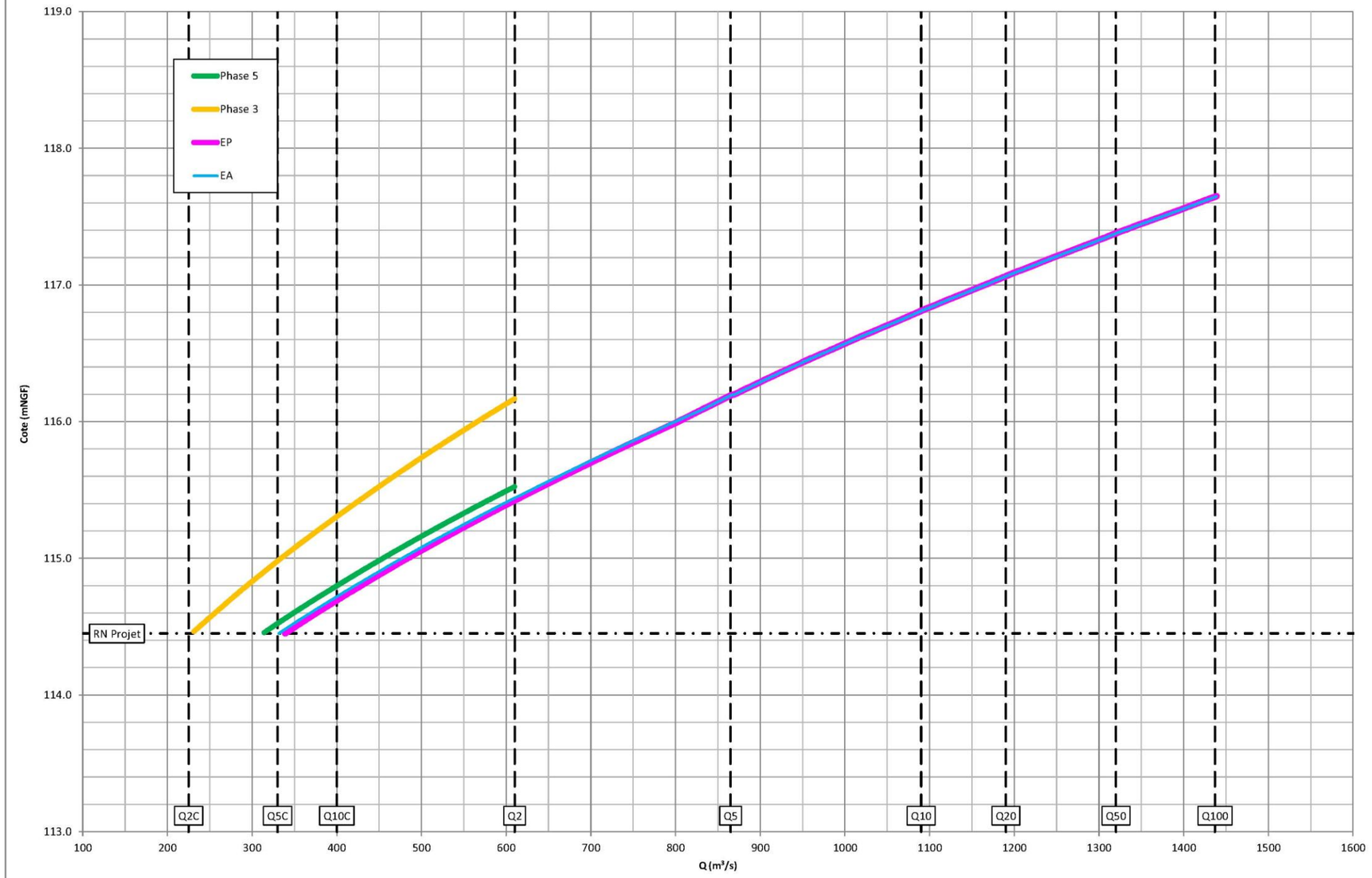


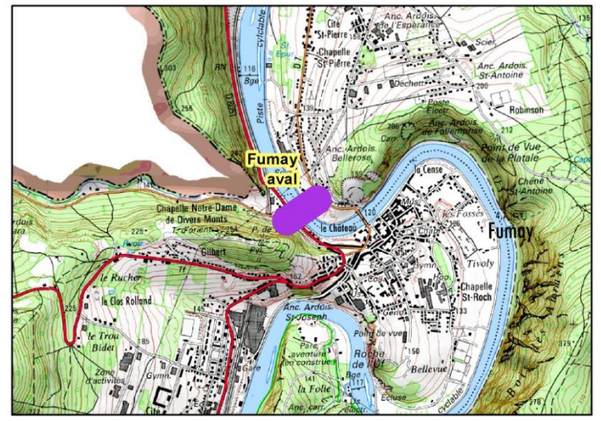
Relation hauteur/débit barrages effacés. Fumay



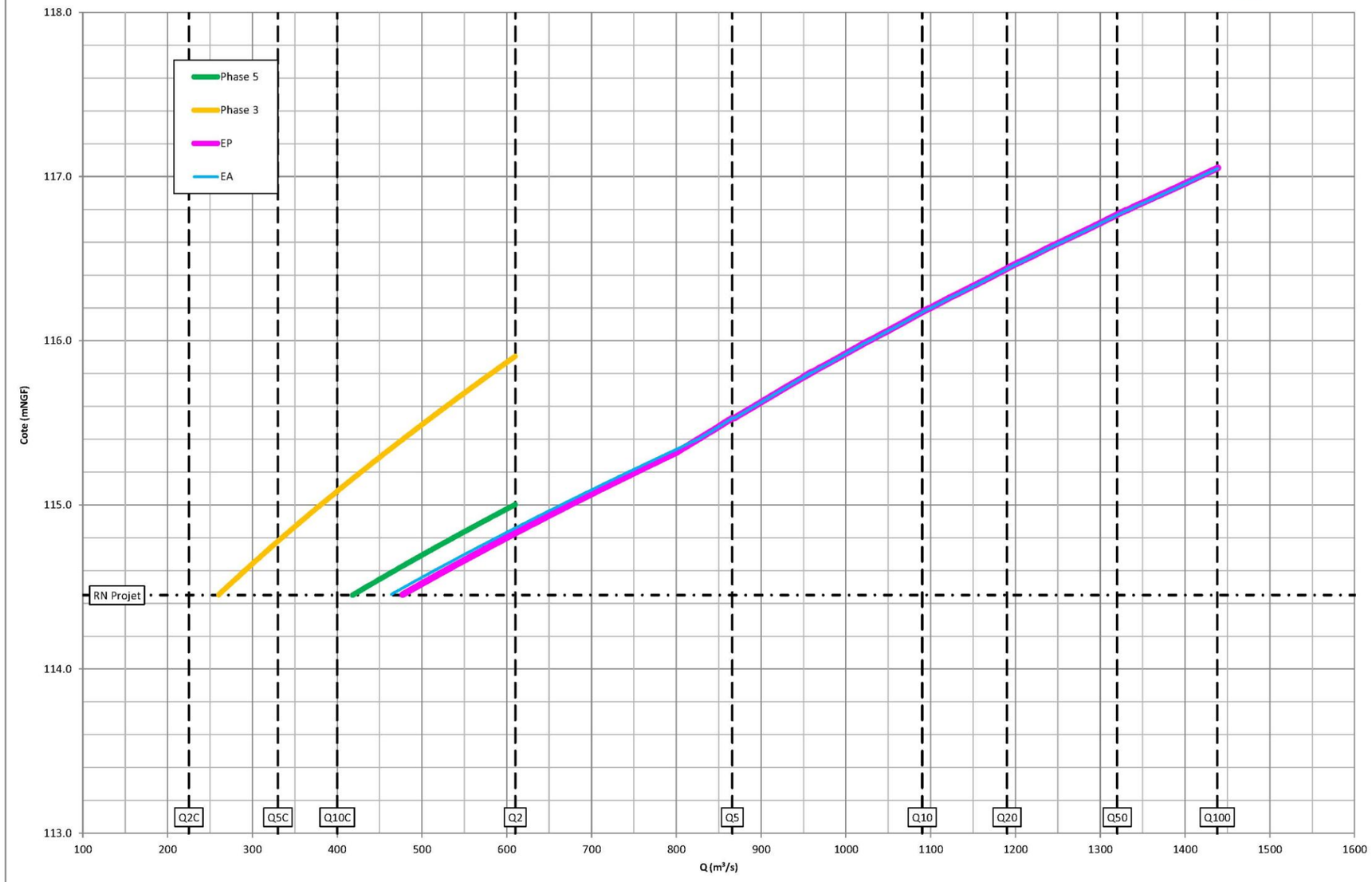


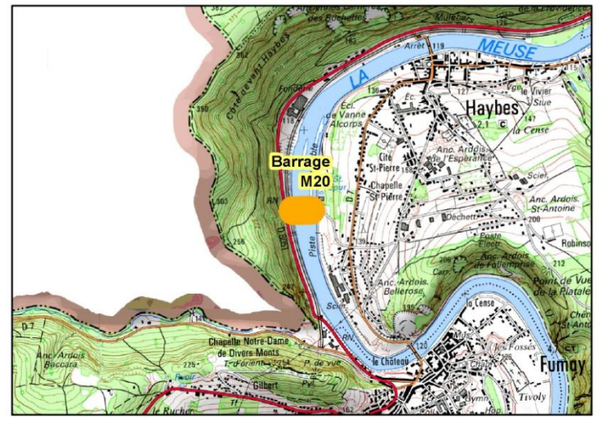
Relation hauteur/débit barrages effacés. Fumay aval



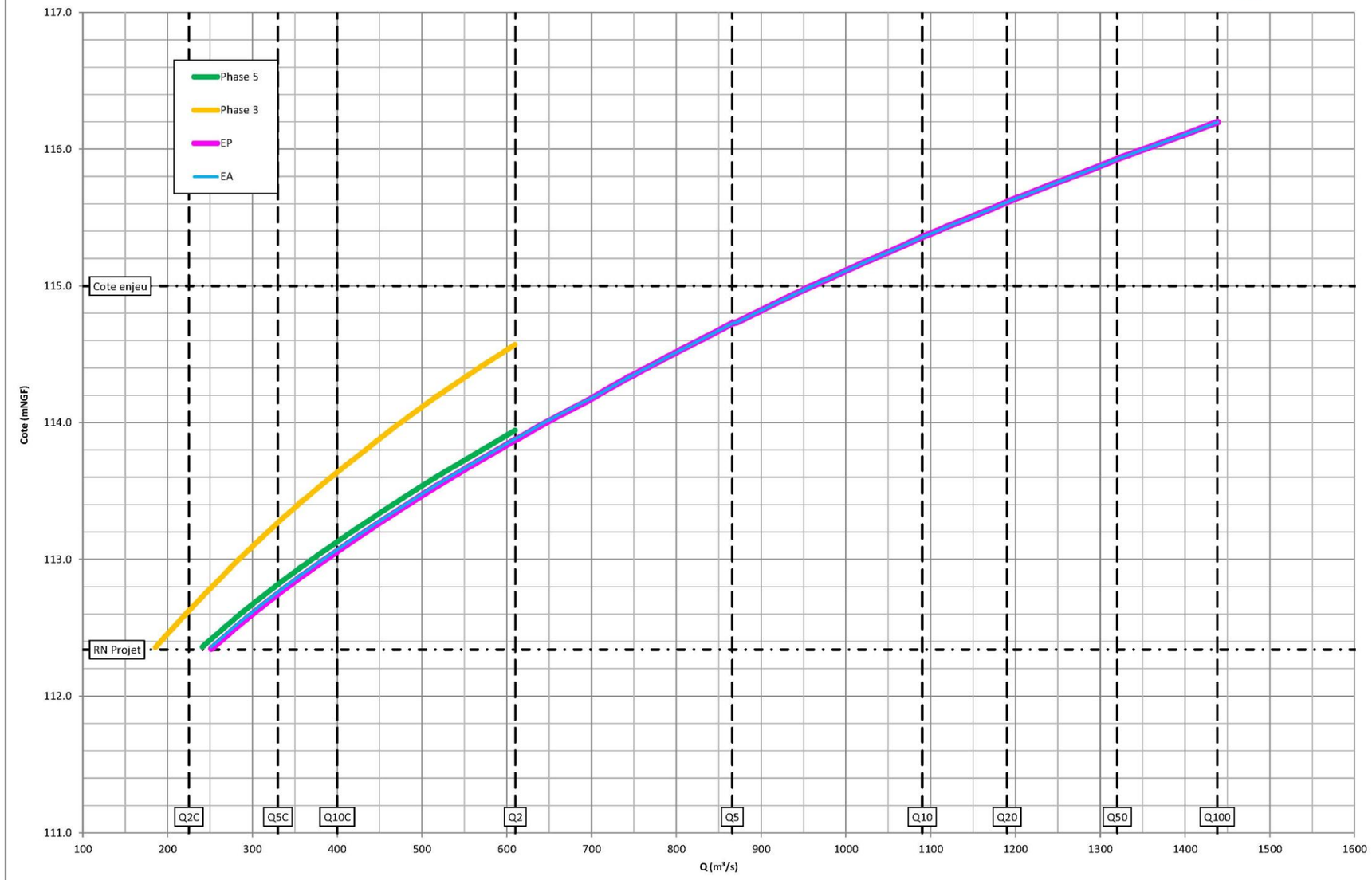


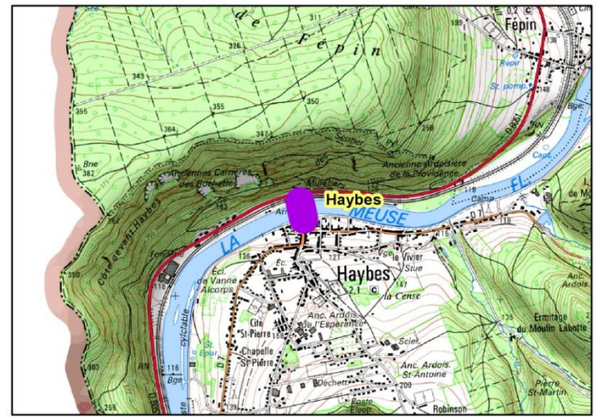
Relation hauteur/débit barrages effacés. M20 amont



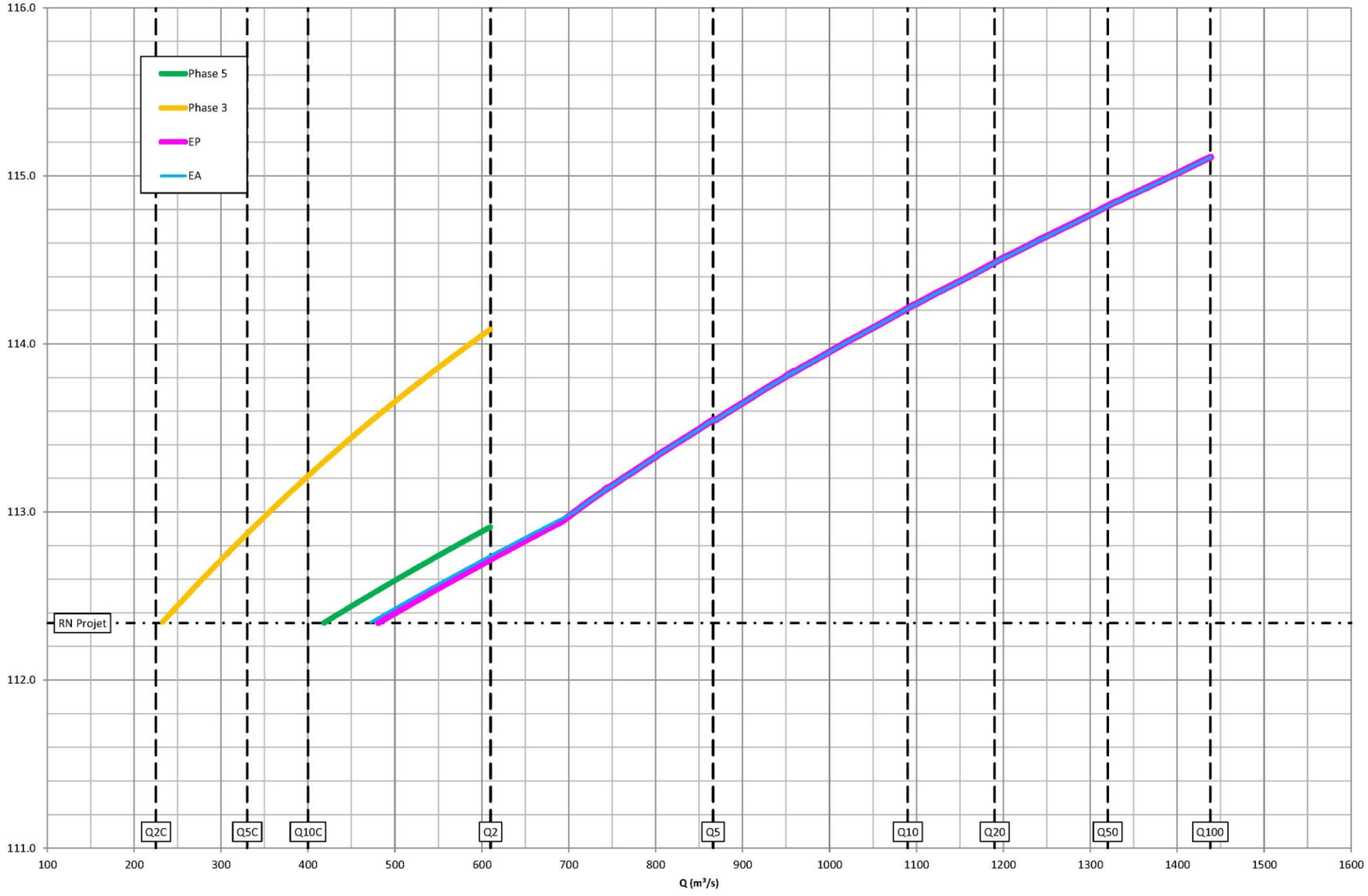


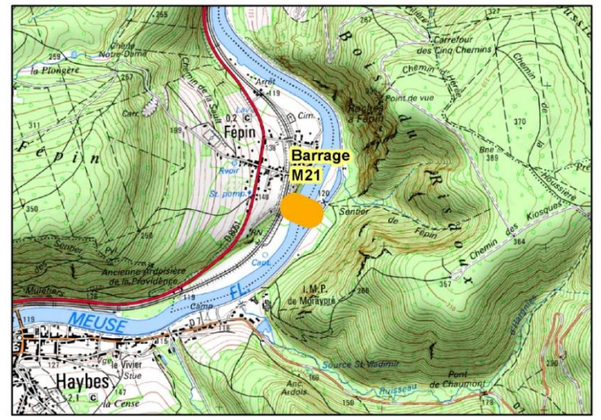
Relation hauteur/débit barrages effacés. Haybes



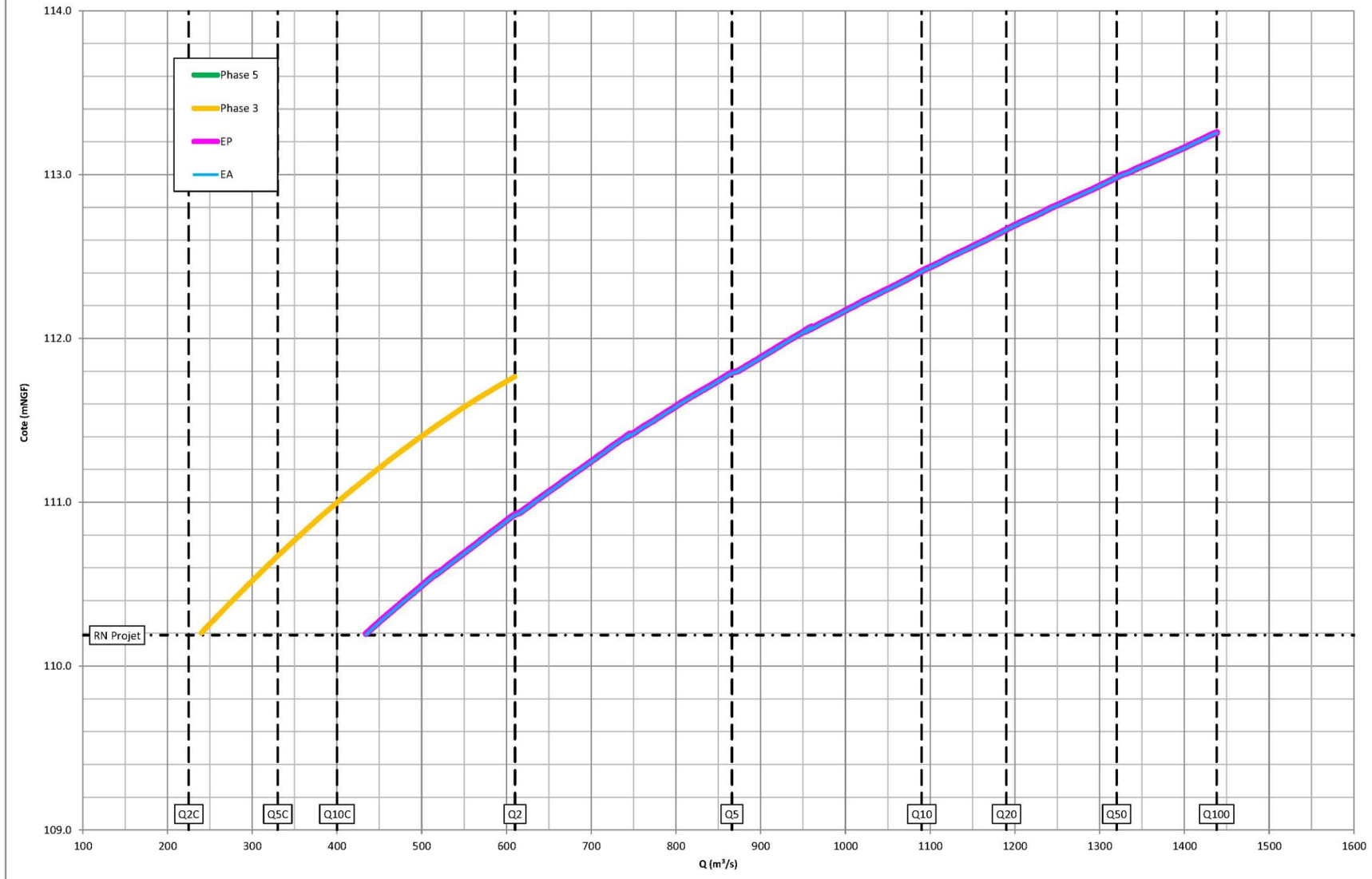


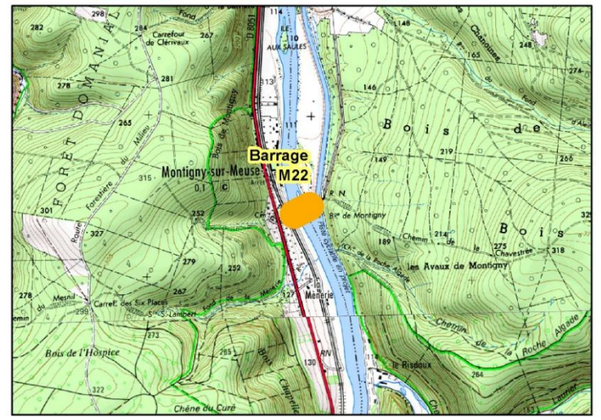
Relation hauteur/débit barrages effacés. M21 amont



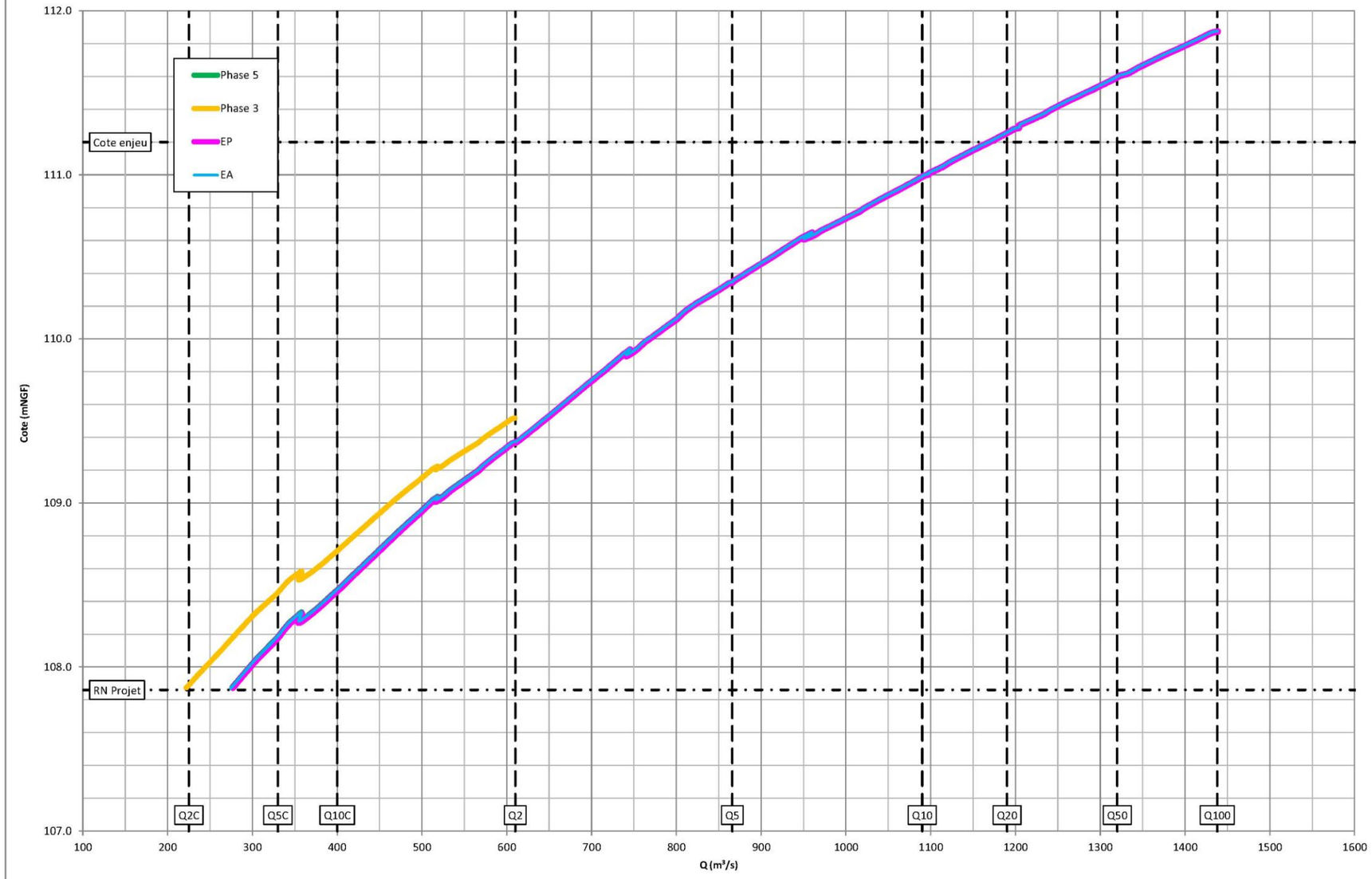


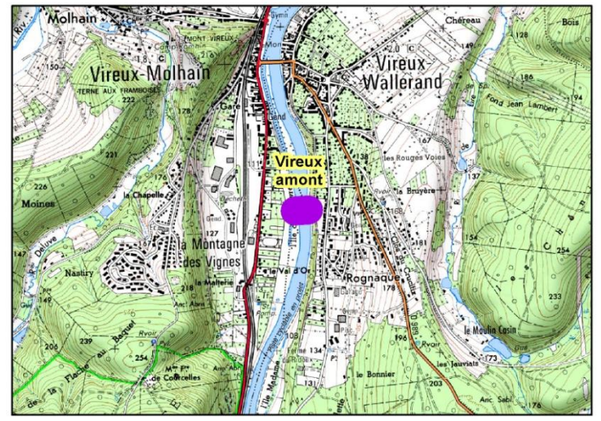
Relation hauteur/débit barrages effacés. M22 amont



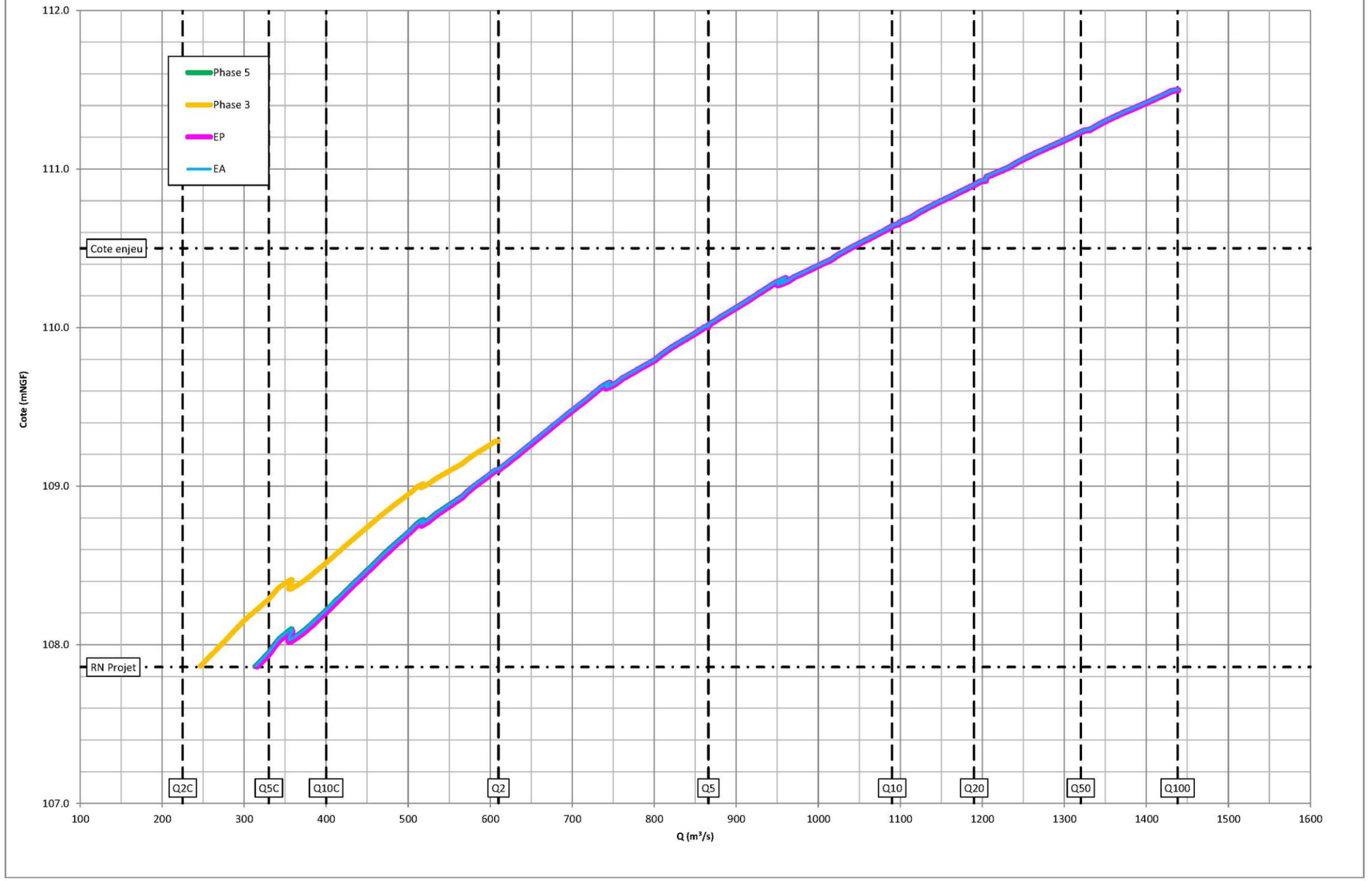


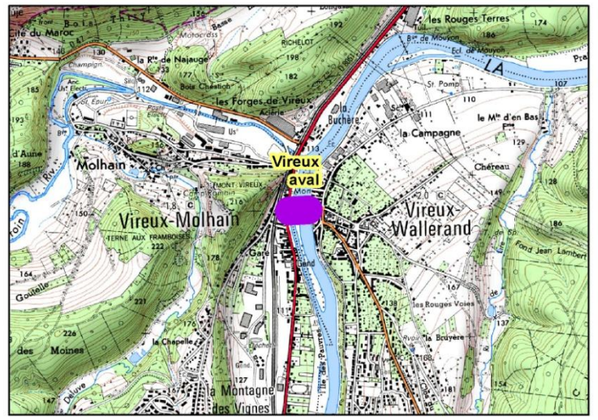
Relation hauteur/débit barrages effacés. Vireux amont



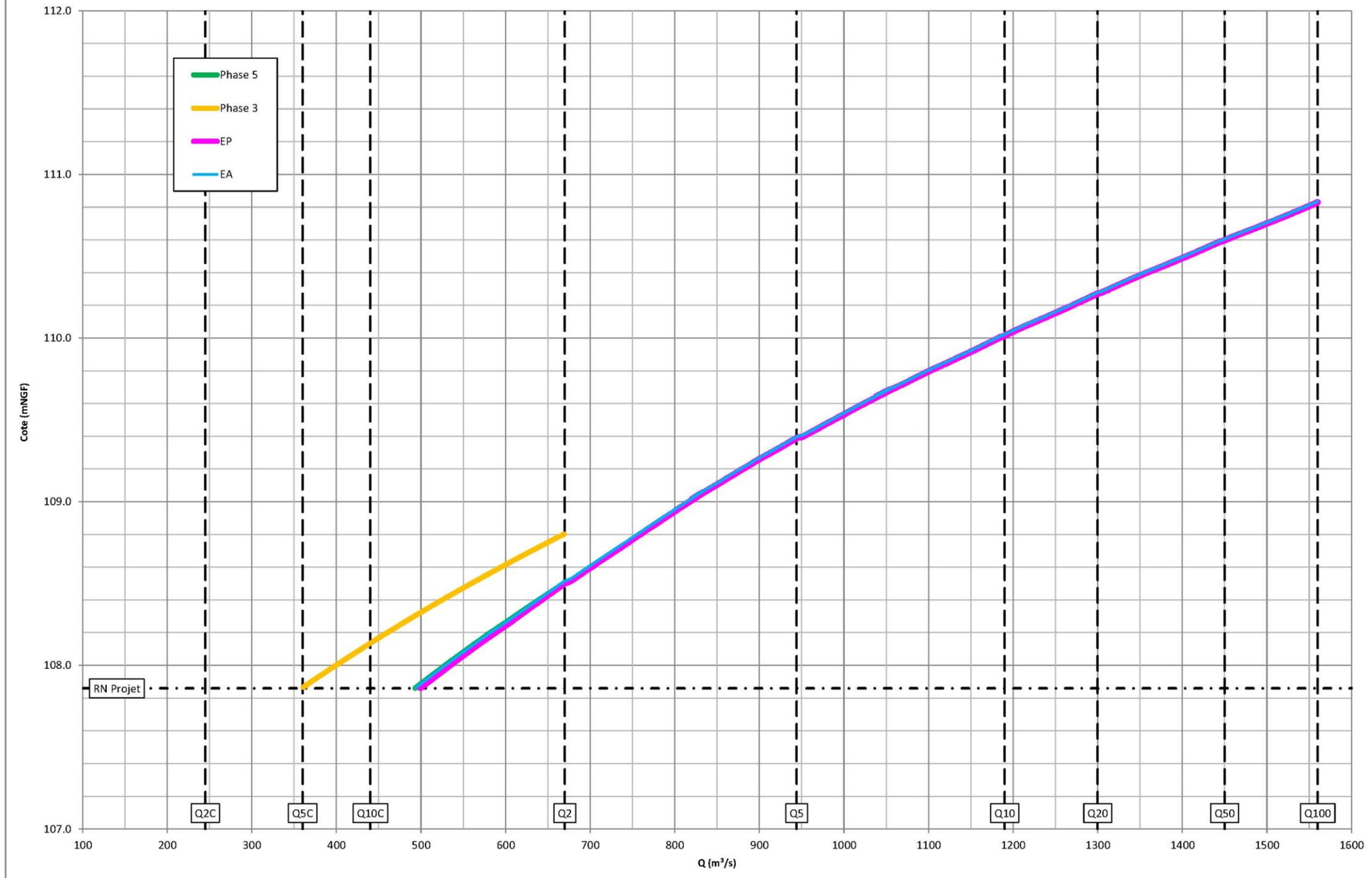


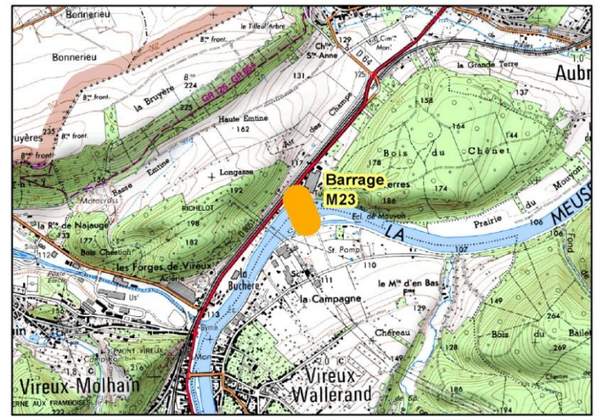
Relation hauteur/débit barrages effacés. Vireux aval



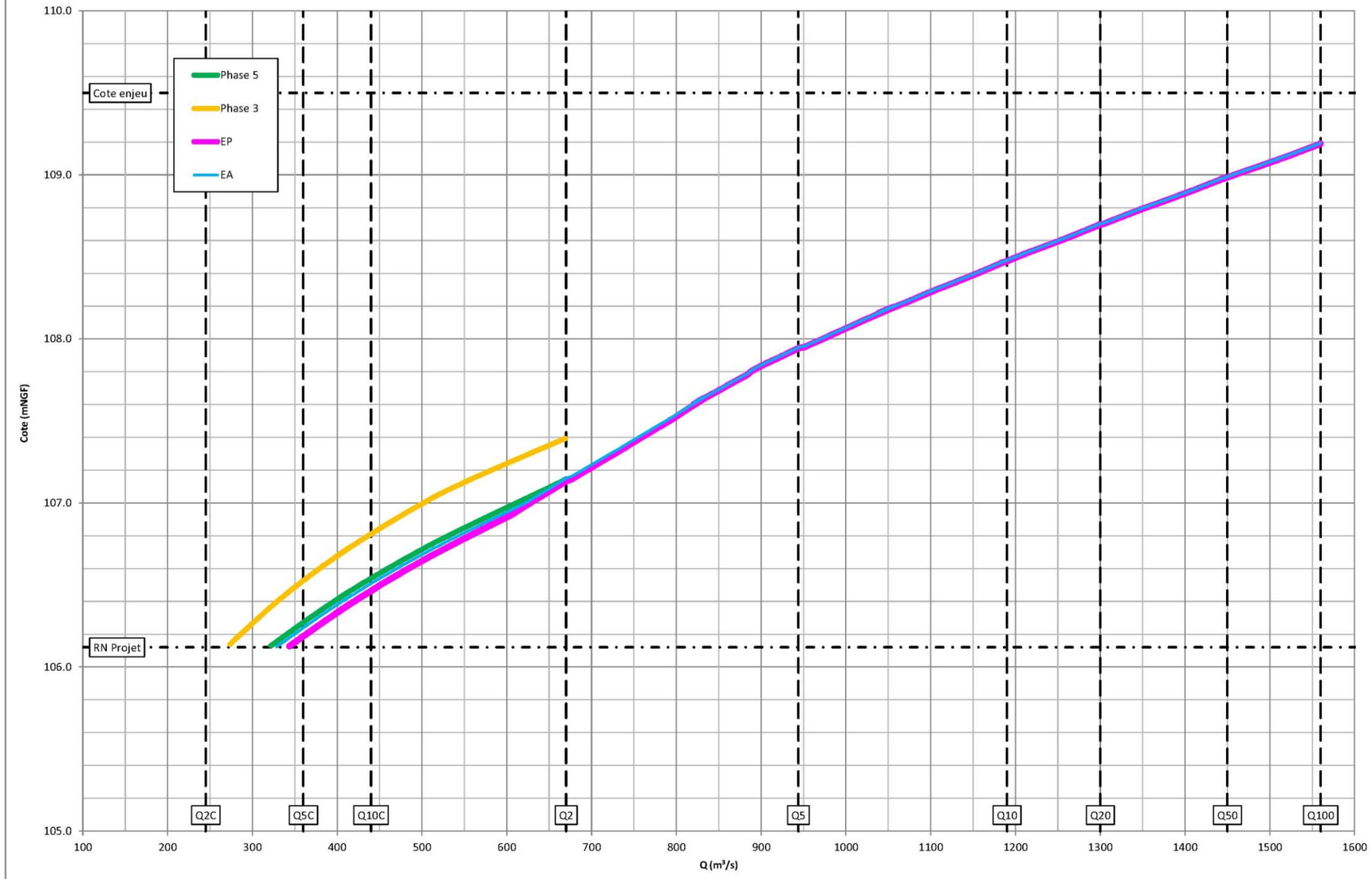


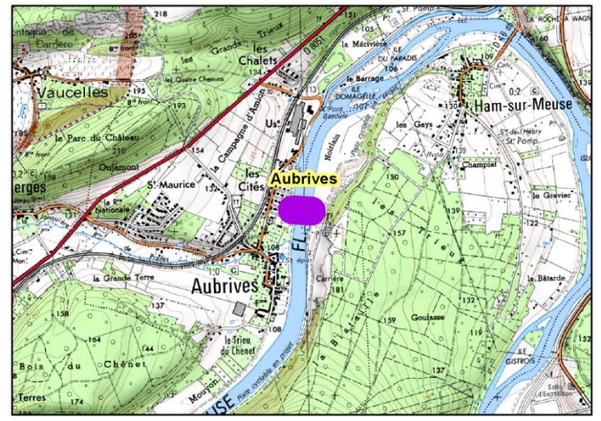
Relation hauteur/débit barrages effacés. M23 amont





Relation hauteur/débit barrages effacés. Aubrives





Relation hauteur/débit barrages effacés. M24 amont