



Projet d'aménagement d'une aire d'écrêtement des crues de la Serre sur le site de Montigny-sous-Marle (Aisne)



Analyse de la crue de janvier 2011 sur le bassin de la Serre (mars 2011 – version 2)



Tour Gamma D
58, quai de la Rapée
75583 Paris Cedex 12

SOMMAIRE

1	PRESENTATION	1
1.1	Contexte	1
1.2	Méthodologie	1
1.2.1	Analyse hydrologique.....	1
1.2.2	Analyse du fonctionnement de l'ouvrage de Montigny-sous-Marle	2
1.3	Résumé et conclusions	2
2	ANALYSE HYDROLOGIQUE	4
2.1	Présentation de la zone d'étude.....	4
2.1.1	Géologie.....	6
2.1.2	Stations hydrométriques	7
2.1.3	Pluviométrie	7
2.2	Modélisation pluie-débit	10
2.2.1	Données de base.....	10
2.2.2	Calcul de la lame d'eau moyenne.....	15
2.2.3	Elaboration du modèle Pluie – Débit	17
2.2.4	Résultats du calage précédent	20
2.2.5	Analyse de la crue de janvier 2011.....	22
2.2.6	Ajout d'un module spécifique neige et calage	24
3	MODELISATION HYDRAULIQUE	25
3.1	Présentation du modèle.....	25
3.1.1	Généralités.....	25
3.1.2	Ouvrages et travaux réalisés depuis 1993	25
3.1.3	Principes de modélisation retenus et structure du modèle.....	26
3.2	Simulation de la crue de janvier 2011 dans la situation de référence	29
3.2.1	Préambule : 2 hypothèses de neige	29
3.2.2	Comparaison des débits et hauteurs aux stations Hydro	30
3.2.3	Laisses de crue et profils en long du Vilpion et de la Serre.....	31
3.2.4	Analyse de la zone inondable dans la traversée de Marle	33
3.2.5	Analyse des débits du Vilpion et de la Serre	35
3.3	Analyse du fonctionnement de l'ouvrage de Montigny sous Marle.....	36
3.3.1	Modélisation de l'ouvrage écrêteur.....	36
3.3.2	Comparaison du limnigramme au pont de la Madeleine et de la cote de consigne	37
3.3.3	Incidence sur le profil en long des lignes d'eau	38
3.3.4	Ecrêtement.....	40

3.4 Analyse du fonctionnement de l'ouvrage de Montigny sous Marle avec une consigne à 77.60 m NGF	41
3.4.1 Incidence sur le profil en long des lignes d'eau	41
3.4.2 Incidence sur le remplissage de l'ouvrage et le volume stocké	43
3.4.3 Incidence sur l'écrêtement	44

Table des tableaux

Tableau 1 : liste des sous-bassins versants modélisés.....	4
Tableau 2 : liste des stations hydrométriques.....	7
Tableau 3 : liste des stations pluviométriques du bassin de la Serre	8
Tableau 4 : Données journalières de pluviométrie	10
Tableau 5 : Comparaison des données pluviométriques et des données radar.....	11
Tableau 6 : Données journalières de neige	12
Tableau 7 : données de neige.....	12
Tableau 8 : données hydrométriques	13
Tableau 9 : cumul de pluie des bassins versants pour la crue de janvier 2011.....	17
Tableau 10 : résultats de calage du modèle pluie débit sur la valeur maximale de débit observée pour chaque événement simulé ; seules les pointes inférieures à 25 m3/s sont analysées ici.	21
Tableau 11 : Hypothèses de neige	29
Tableau 12 : laisses de crue	31
Tableau 13 : Cotes en amont de la retenue et volumes stockés.....	43

Table des figures

Figure 1 : carte des sous-bassins versants de la Serre.....	4
Figure 2 : carte des formations géologiques	6
Figure 3 : carte des stations de mesures et pluviométrie annuelle	8
Figure 4 : Cumul de pluie du 5 au 8 janvier 2011 – image.....	11
Figure 5 : données de températures.....	13
Figure 6 : Débits et périodes de retour aux stations de Montcornet et Pont-à-Bucy	14
Figure 7 : zones de pluviométrie élémentaire.....	15
Figure 8 : Schéma du modèle pluie-débit des bassins versants amont - Sols peu perméables	18
Figure 9 : Schéma du modèle pluie-débit des bassins versants aval - Sols perméables	19
Figure 10 : Carte des modèles pluie-débit des sous-bassins versants.....	20
Figure 11 : Résultats du calage du modèle pluie-débit sur le bassin versant SerreAM sans le module neige	23
Figure 12 : Comparaison des débits à la station de Montcornet avec et sans le module neige	24
Figure 13 : schémas de modélisation d'HYDRARIV	26
Figure 14 : schémas de la structure du modèle réalisé sous HYDRARIV	27
Figure 15 : Calage en débits et en cotes aux stations Hydro	30
Figure 16 : Profil en long du Vilpion et de la Serre à Marle, en considérant ou non de la neige sur le VilpionAM	32
Figure 17 : Repérage des zones inondées	33
Figure 18 : Extrait de la zone inondable calculée par le modèle	34
Figure 19 : Hydrogrammes du Vilpion et de la Serre calculés par le modèle hydraulique	35
Figure 20 : Modélisation de l'ouvrage de Montigny-sous-Marle	36
Figure 21 : Limnigramme du Vilpion au pont de la Madeleine	37
Figure 22 : Profil en long du Vilpion et de la Serre à Marle, avec et sans l'ouvrage de Montigny	39
Figure 23 : Ecrêtement sur le Vilpion et la Serre apporté par l'ouvrage de Montigny-sous-Marle.....	40
Figure 24 : Profil en long du Vilpion et de la Serre à Marle, pour différentes cotes de consigne de l'ouvrage de Montigny.....	42
Figure 25 : Courbe hauteur-volume de la retenue de Montigny-sous-Marle.....	43
Figure 26 : Ecrêtement sur le Vilpion et la Serre apporté par l'ouvrage de Montigny-sous-Marle avec une consigne abaissée à 77.60 m NGF	44

1 PRESENTATION

1.1 CONTEXTE

Le bassin de la Serre, et plus globalement le bassin de l'Oise amont, ont connu une crue relativement conséquente au début du mois de janvier 2011. Dans le cadre du projet d'ouvrage de ralentissement des crues de la Serre à Montigny sous Marle, l'Entente Oise Aisne souhaite qualifier cette crue sur le bassin de la Serre, analyser le fonctionnement de l'ouvrage envisagé et quantifier ses impacts sur la propagation de la crue dans la traversée de Marle.

1.2 METHODOLOGIE

Notre méthodologie s'appuie sur des calculs hydrologiques et hydrauliques menés avec les modèles élaborés dans le cadre de la réalisation des études d'avant projet de l'ouvrage de Marle.

1.2.1 *Analyse hydrologique*

La crue de janvier 2011 est caractérisée par un événement pluvieux soutenu entraînant la fonte des neiges stockées sur les bassins versant amont.

Les données pluviométriques de l'événement ont été acquises auprès de Météo France.

Nous avons exploité les images radar au pas de temps 1 heure afin d'apprécier la répartition des précipitations sur les différents sous bassins versants, et notamment la Serre et le Vilpion. Ces données ont été validées par comparaison avec les données disponibles sur un pluviographe.

Par ailleurs, une estimation du stock de neige par sous bassin versant a été réalisée par analyse des données disponibles auprès de Météo France.

Le modèle pluie débit Hydra BV a été enrichi d'un module intégrant le stock de neige à l'échelle de chaque sous bassin versant. L'analyse des calculs effectués en temps réel par les modèles pluie débit du SPC Oise-Aisne sur cette crue montre la nécessité de prendre en compte ce paramètre pour restituer les volumes effectivement ruisselés.

Le paramétrage du module neige a été effectué à la station de Montcornet, par comparaison des cotes mesurées à la station hydrométrique et calculées avec le modèle pluie-neige-débit.

Les hydrogrammes ont été calculés à l'exutoire de chacun des sous bassins versants du modèle pluie débit, puis injectés dans le modèle hydraulique de la situation actuelle de la vallée de la Serre.

Le calage global a ensuite été effectué par comparaison entre les cotes et débits mesurés et calculés aux stations de Mortiers et de Nouvion et Catillon.

Les cotes d'inondations calculées dans la traversée de Marle ont été comparées aux indications qualitatives recueillies auprès des acteurs locaux (compte rendu du maire de Marle notamment).

Les résultats de la modélisation ont ensuite été exploités pour qualifier les crues de la Serre et du Vilpion à Marle :

- période de retour,
- débits de pointe,
- décalage temporel des pointes de crue,
- cotes d'eau maximales.

L'état d'inondation calculé correspond à l'état de référence pour la quantification des incidences de l'ouvrage de ralentissement dynamique.

1.2.2 Analyse du fonctionnement de l'ouvrage de Montigny-sous-Marle

Les hydrogrammes calculés précédemment ont été injectés dans le modèle hydraulique intégrant l'ouvrage de ralentissement dynamique et ses règles de gestion tels que définis dans les études d'avant projet.

Le fonctionnement de l'ouvrage et ses incidences sur la propagation des crues de la Serre et du Vilpion dans la traversée de Marle ont été analysés :

- Propagation de l'onde de crue,
- Lignes d'eau dans la traversée de Marle.

1.3 RESUME ET CONCLUSIONS

Le modèle pluie-neige-débit mis au point ainsi que le modèle hydraulique de la Serre et du Vilpion ont permis de calculer la ligne d'eau de ces deux cours d'eau dans la traversée de Marle.

Le calage en débits s'avère satisfaisant, notamment grâce au module neige développé spécifiquement dans le cadre de cette étude.

Le modèle montre un décalage des pointes de crues du Vilpion et de la Serre de 12h (Vilpion en avance sur la Serre), de sorte que le débit total dans Marle atteint environ 110m³/s alors que le débit de chaque rivière en amont atteint 65 m³/s. Cette observation confirme le retard « naturel » de la Serre sur le Vilpion et l'intérêt de ralentir encore plus la Serre par un aménagement de ralentissement dynamique.

Les résultats sont conformes à une laisse de crue sur le Vilpion en amont du pont Charles de Gaulle, mais le modèle semble légèrement sous-estimer les niveaux d'eau dans la traversée de Marle, et par conséquent réduire l'emprise de la zone inondable, par rapport aux observations effectuées lors de la crue.

Toutefois, les résultats du modèle sont exploitables en l'état pour l'analyse de la crue de janvier 2011.

Le modèle hydraulique indique une cote calculée de 77.80 m NGF au pont de la Madeleine sur le Vilpion, ce qui est supérieur de 10 cm à la cote de consigne de l'ouvrage projeté de Montigny-sous-Marle.

Celui-ci aurait bien fonctionné lors de cette crue de janvier 2011, et aurait permis :

- Un abaissement de la ligne d'eau du Vilpion de 5 à 10 cm dans la traversée de Marle et de 5 cm sur la Serre, avec maintien de la cote du Vilpion à la Madeleine sous le niveau 77.75m NGF,
- Un écrêtement de 10 m³/s sur le débit de la Serre au moment du passage de la pointe de crue dans Marle,
- Le stockage d'un peu moins de 300 000 m³ d'eau sous la cote 80.95m NGF en amont de la digue de retenue.

Ces valeurs sont probablement un peu minimisées compte tenu du calage en cote du modèle qui sous-estime légèrement les niveaux d'inondation. Toutefois, cette crue de janvier 2011, similaire à celle de 2002-2003, se situe indéniablement aux environs du seuil de mise en action de l'ouvrage projeté. Il faut rappeler ici que ce seuil de mise en action a été calé pour optimiser le fonctionnement de l'ouvrage en cas de crue type décembre 1993 (crue supérieure à la trentennale, cinquantiennale à Montcornet).

Les résultats de cette étude et des quelques dommages observés lors du passage de cette crue ont conduit à considérer un éventuel recalage du point de consigne de mise en action en l'abaissant de 10 cm à 77.60 m NGF.

Cet ouvrage aurait permis :

- Un abaissement de la ligne d'eau du Vilpion de 15 à 20 cm dans la traversée de Marle et de 5 à 10 cm sur la Serre, avec maintien de la cote du Vilpion à la Madeleine sous le niveau 77.75m NGF,
- Un écrêtement de 18 m³/s sur le débit de la Serre au moment du passage de la pointe de crue dans Marle,
- Le stockage de 900 000 m³ d'eau sous la cote 81.90m NGF en amont de la digue de retenue.

2 ANALYSE HYDROLOGIQUE

2.1 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

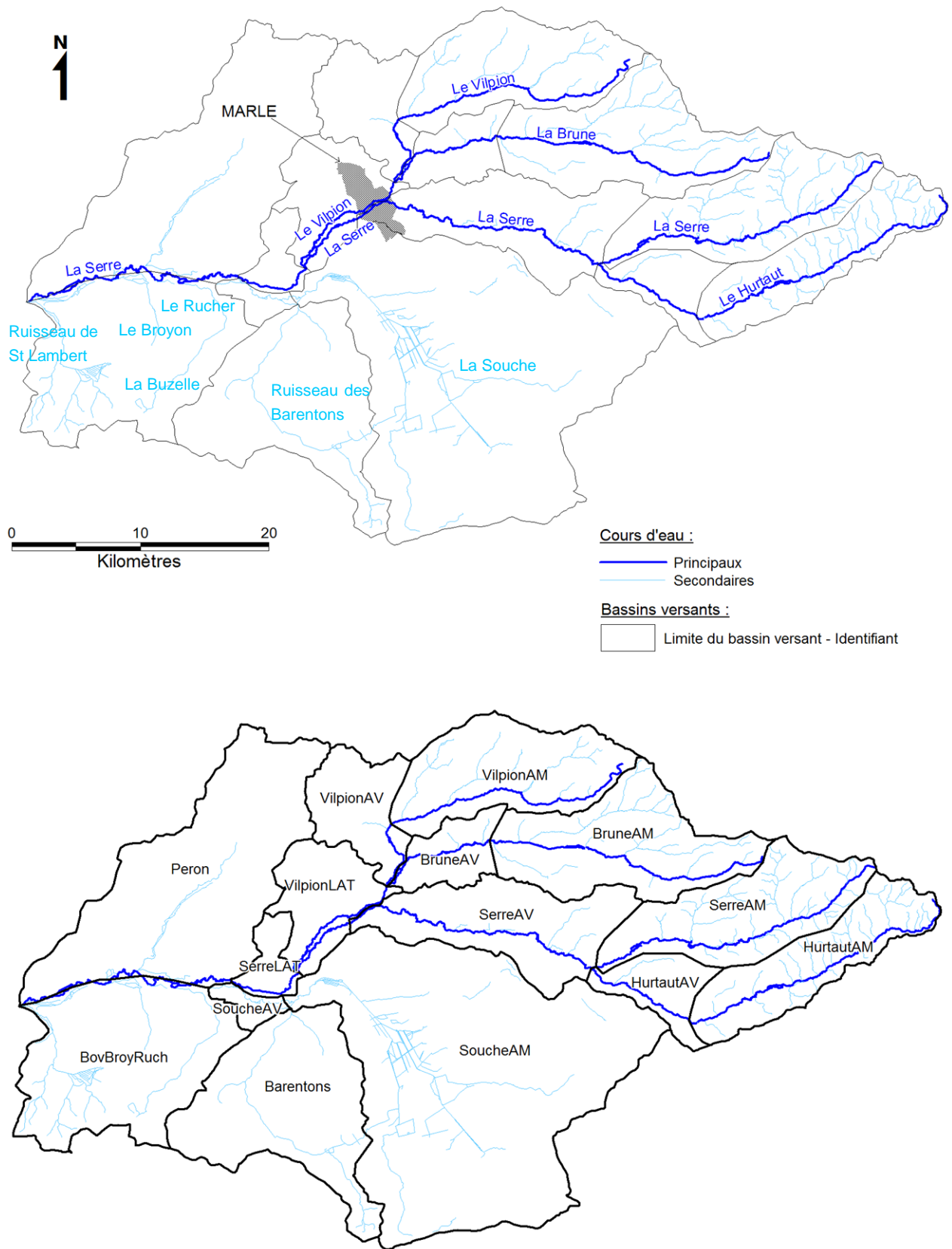
La zone d'étude est découpée en 15 sous-bassins versants modélisés représentés sur les cartes de la page suivante.

<i>Bassin versant</i>	<i>Identifiant</i>	<i>Surface (km²)</i>	<i>Longueur (m)</i>	<i>Description</i>
Vilpion amont	VilpionAM	113.20	21500	Vilpion de la Source jusqu'à l'amont de Rougeries
Brune amont	BruneAM	130.45	23200	Brune de la source jusqu'à l'amont de Burelles
Serre amont	SerreAM	113.97	26000	Serre de la Source jusqu'à Montcornet
Hurtaut amont	HurtautAM	91.47	24700	Hurtaut de la Source jusqu'à l'aval de Benneville
Hurtaut aval	HurtautAV	36.23	6180	Hurtaut de Benneville jusqu'à confluence avec la Serre
Serre aval	SerreAV	107.88	15770	Serre de l'aval de Montcornet jusqu'à l'aval de Marle
Brune aval	BruneAV	34.78	7720	Brune de Burelles jusqu'à confluence avec la Vilpion
Vilpion aval	VilpionAV	55.67	9630	Vilpion de Rougeries jusqu'à confluence avec la Brune
Vilpion latéral	VilpionLAT	58.71	7430	Vilpion depuis la confluence avec la Brune jusqu'à sa confluence avec la Serre
Serre latérale	SerreLAT	20.02	5960	Serre depuis la confluence avec le Vilpion jusqu'à Crécy-sur-Serre
Souche amont	SoucheAM	417.77	26900	Souche de la source jusqu'à Barenton-sur-Serre
Barentons	Barentons	154.36	22270	Ruisseau des Barentons de la source jusqu'à Barenton-sur-Serre
Souche aval	SoucheAV	10.96	2990	Souche de Barenton-sur-Serre jusqu'à Crécy-sur-Serre
Rucher, Broyon, Bovette, St Lambert	BovBroyRuch	171.38	13280	Affluents rive gauche de la Serre en aval de Cécly-sur-Serre
Peron	Peron	230.26	20920	Le Péron et BV RD de la Serre entre Crécy-sur-Serre et sa confluence avec l'Oise

Tableau 1 : liste des sous-bassins versants modélisés

Ci-après :

Figure 1 : carte des sous-bassins versants de la Serre



2.1.1 Géologie

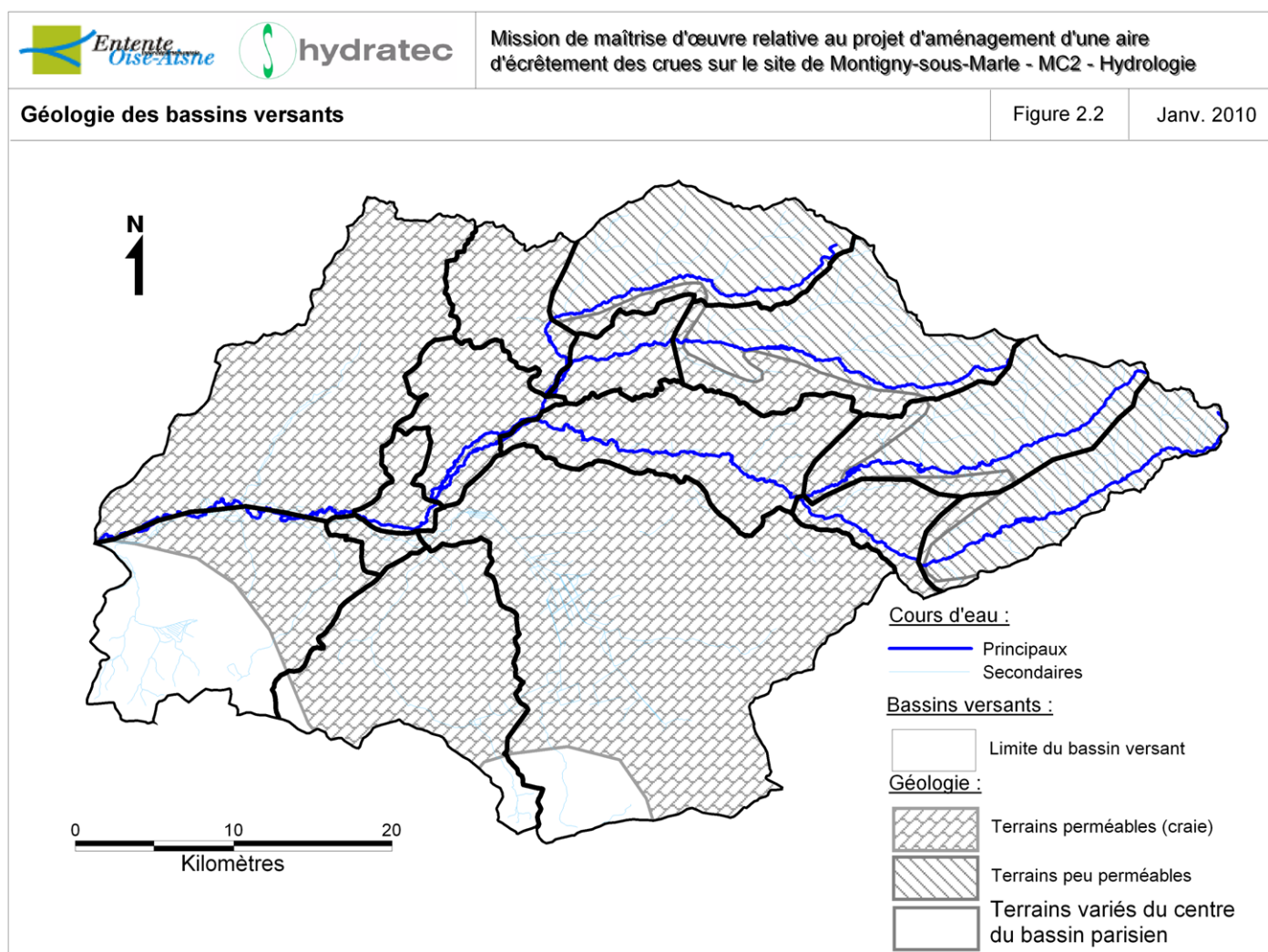
Sur la partie amont du bassin versant, correspondant aux collines de la Thiérache, les formations marneuses et argileuses fortement ruisselantes prédominent. Les crues sont générées dans cette zone par la Serre en amont de Montcornet et ses affluents :

- Le Hurtaut en amont de Renneville,
- La Brune en amont de Burelle,
- Le Vilpion en amont de Rougeries.

En aval, cette zone imperméable fait place à une formation de craie blanche perméable très peu ruisselante.

Le réseau hydrographique et la géologie du bassin versant de la Serre sont présentés.

Figure 2 : carte des formations géologiques



2.1.2 Stations hydrométriques

Le bassin versant de la Serre dispose de trois stations hydrométriques gérées par la DIREN Picardie présentées sur la figure 3, dont nous rappelons brièvement les caractéristiques ci-dessous :

- **Montcornet** : station mise en service en 1991, contrôlant un bassin versant de 114 km². Le débit jaugé le plus fort est de 11.6 m³/s (26/02/2002). Au dessus de 25 m³/s, la DIREN ne fournit plus d'estimation des débits.
- **Mortiers** : station mise en service en 1972, contrôlant un bassin versant de 733 km². En forte crue, une partie du débit contourne la station pour rejoindre le lit de la Souche ; les débits de la station sont plafonnés à une valeur de l'ordre 55 m³/s, quelle que soit l'importance de la crue.
- **Pont-à-Bucy (commune de Nouvion-et-Catillon)** : station mise en service en 1949, contrôlant un bassin versant de 1630 km². La série de données n'est pas homogène du fait des travaux de recalibrage effectués en amont de la station dans les années 1970 – 1972 ayant entraîné une accélération des écoulements et un moindre laminage des crues. Les études précédentes se sont donc appuyées sur les données postérieures à 1972.

Il existe également une station de mesure sur le ruisseau des Barentons :

- **Barenton-Bugny** : station en fonctionnement de 1981 à 2002, contrôlant un bassin versant de 90 km².

Liste des identifiants des stations :

<i>Cours d'eau</i>	<i>Identifiant</i>	<i>Station</i>
Serre	H7102020	Montcornet
	H7142010	Mortiers
	H7162010	Pont-à-Bucy
Barentons	H7153210	Barenton-Bugny

Tableau 2 : liste des stations hydrométriques

2.1.3 Pluviométrie

2.1.3.1 Répartition annuelle de la pluviométrie

La carte de répartition moyenne annuelle de la pluviométrie est tracée à partir des données AURELHY de Météo France; composées à partir des moyennes mensuelles interannuelles sur la période 1971-2000, l'interpolation des valeurs prend en compte le relief et son incidence sur les précipitations.

Le bassin versant d'étude est soumis à un gradient pluviométrique ouest / est : variation d'environ 700 mm à l'ouest à 1 050 mm à l'est.

2.1.3.2 Stations pluviométriques

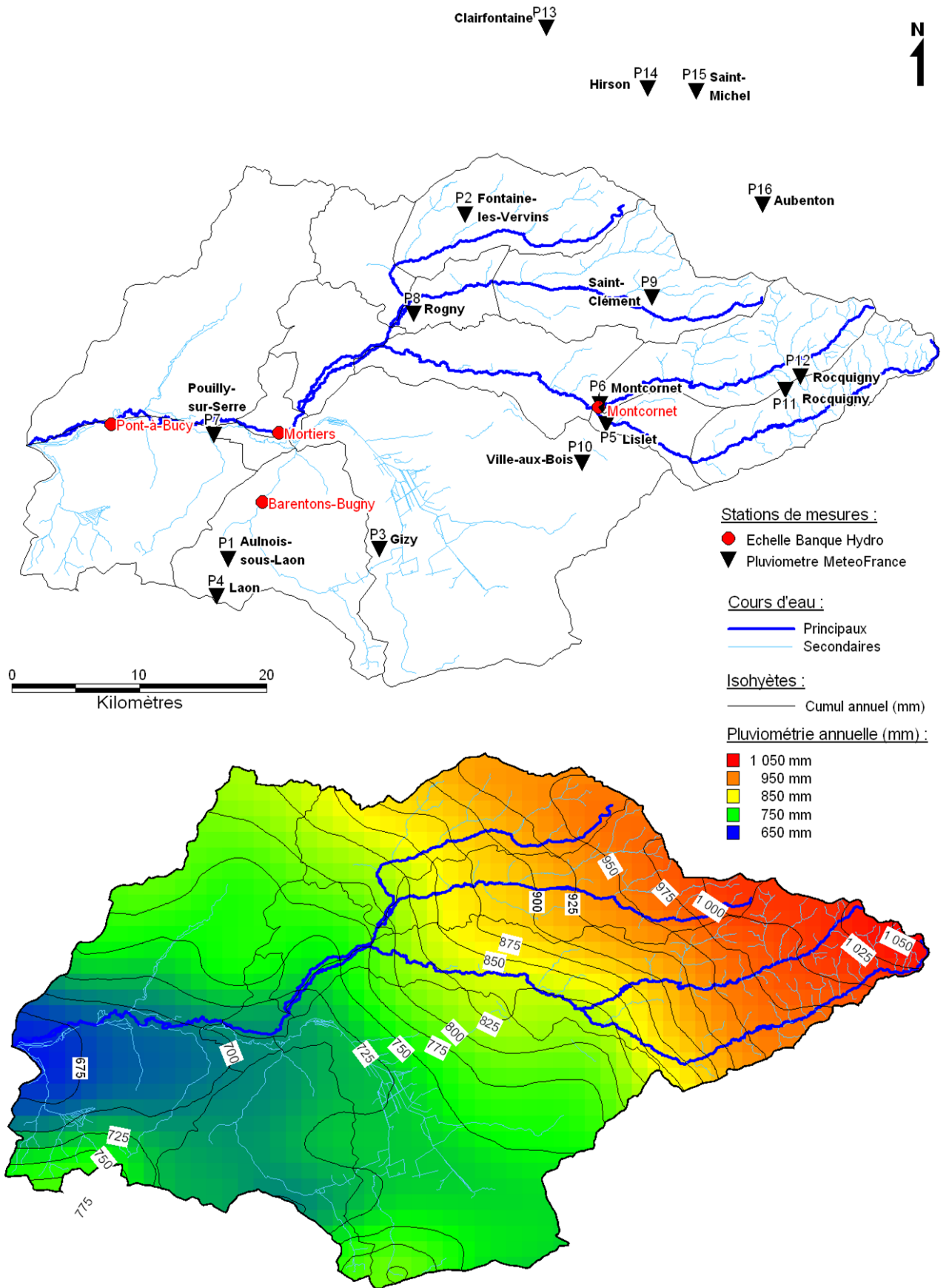
La localisation des postes pluviométriques gérés par Météo France, dans et à proximité du bassin versant d'étude, est donnée sur la carte présentée ci-après.

<i>N° sur carte</i>	<i>INSEE</i>	<i>Nom</i>	<i>Ouverture</i>	<i>Fermeture</i>	<i>Type</i>
P1	02037002	AULNOIS-SOUS-LAON (AULNOIS-SS-LAON)	01/10/1988		Horaire
P2	02321002	FONTAINE-LES-VERVINS (FONTAINE-LES-VV)	01/07/1987		Horaire
P3	02346001	GIZY	01/01/1946		Quotidien
P4	02408002	LAON	01/12/1950		Quotidien
P5	02433001	LISLET	01/05/2006		Quotidien
P6	02502001	MONTCORNET	01/01/1881	30/04/2006	Quotidien
P7	02617001	POUILLY-SUR-SERRE	01/08/1959		Quotidien
P8	02652001	ROGNY	01/05/1973		Quotidien
P9	02674001	SAINT-CLEMENT (ST-CLEMENT)	01/01/1975		Quotidien
P10	02802001	LA VILLE-AUX-BOIS-LES-DIZY (VILLE-AUX-BOIS)	01/01/1964		Quotidien
P11	08366001	ROCQUIGNY (ROCQUIGNY - MAN)	01/12/1970		Quotidien
P12	08366002	ROCQUIGNY	01/10/1991	30/04/1998	Horaire
P13	02197001	CLAIRFONTAINE	01/09/1987	01/03/2007	Horaire
P14	02381001	HIRSON	01/01/1859		Quotidien
P15	02684001	SAINT-MICHEL	01/01/1927	31/01/1999	Quotidien
P16	02031001	AUBENTON	01/03/1971		Quotidien

Tableau 3 : liste des stations pluviométriques du bassin de la Serre

Ci-après :

Figure 3 : carte des stations de mesures et pluviométrie annuelle



2.2 MODELISATION PLUIE-DEBIT

2.2.1 Données de base

2.2.1.1 Pluviométrie

Pour la période préparatoire, l'objectif est d'estimer les niveaux des réservoirs de sol en début de crue (et non de reproduire au mieux les débits constatés dans le cours d'eau). Ainsi la pluviométrie recueillie peut être à pas de temps journalier.

Pour la période intense, étant donné que l'on s'intéresse à des bassins versants relativement petits (dont le temps de réponse est inférieur à la journée), il est nécessaire de disposer d'une pluviométrie à pas de temps fin (au pas de temps horaire).

▪ Données journalières de pluviométrie

Les stations pluviométriques situées à proximité du bassin versant, pour lesquelles des données journalières de pluviométrie sont disponibles (et ont été recueillies), sont récapitulées dans le tableau présenté ci-après.

INSEE	Nom	Du 01/09/10 au 31/12/10	Du 01/01/11 au 15/01/11
02037002	Aulnois-sous-Laon (Aulnois-ss-Laon)	X	X
02321002	Fontaine-les-Vervins (Fontaine-les-Vv)	X	X
02346001	Gizy	X	-
02433001	Lislet	X	-
02502001	Montcornet	-	-
02617001	Pouilly-sur-Serre	X	-
02652001	Rogny	X	-
02674001	Saint-Clement (St-Clement)	X	-
02802001	La Ville-Aux-Bois-Les-Dizy (Ville-aux-Bois)	X	-
08366001	Rocquigny (Rocquigny-Man)	X	X
08366002	Rocquigny	-	-
02197001	Clairefontaine	-	-

- : Signifie que les données sont absentes

Tableau 4 : Données journalières de pluviométrie

Remarque : on ne dispose de données pour le mois de janvier 2011 que pour les stations de Aulnois-sous-Laon, Fontaine-les-Vervins et Rocquigny.

▪ Données horaires de pluviométrie – Episode intense

Pour la période du 04/01/11 au 14/01/11, et en particulier pour la période de pluie intense du 05/01/11 au 08/01/11, on dispose des lames d'eau du radar local de l'Avesnois, obtenus auprès de Météo-France.

Il s'agit de données horaires de pluviométrie, sur un ensemble de 512 * 512 pixels. Chaque pixel correspondant à une surface de 1km * 1km.

Ces données permettent ainsi d'avoir une répartition spatiale précise de la pluie sur l'ensemble du bassin versant de la Serre :

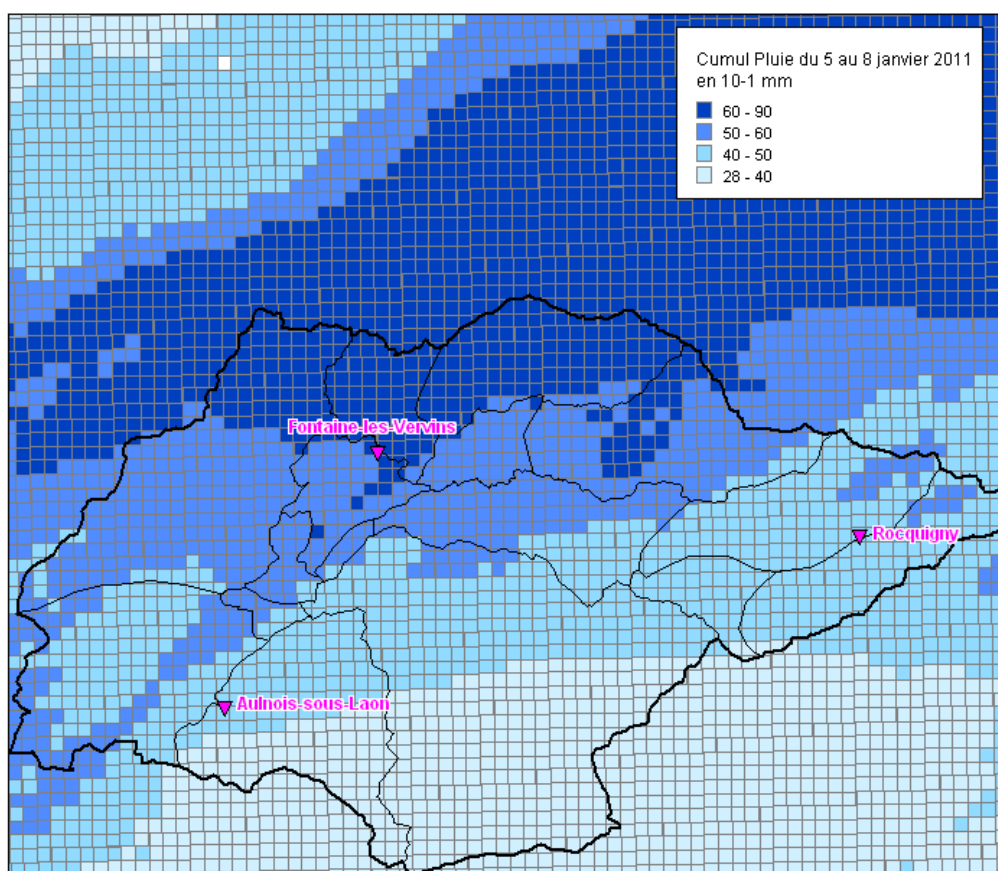


Figure 4 : Cumul de pluie du 5 au 8 janvier 2011 – image

Afin de vérifier la validité de données radar, les précipitations sur les 4 jours de pluie intense ont été comparées aux données journalières obtenues avec les 3 pluviomètres.

Pour cela, les pixels où sont situés les différents pluviomètres ont été repérés et le cumul des lames d'eau horaires a été effectué pour chaque jour (de 6h00 à 5h00 le lendemain, pour tenir compte du décalage des données pluviométriques).

Les résultats sont donnés ci-après (en 10-1.mm) :

Date	Aulnois-sous-Laon		Fontaine-les-Vervins		Rocquigny	
	Pluvio	Radar	Pluvio	Radar	Pluvio	Radar
05/01/2011	87	50	113	97	160	91
06/01/2011	103	115	275	282	165	140
07/01/2011	103	92	157	162	83	78
08/01/2011	155	163	165	183	94	159

Tableau 5 : Comparaison des données pluviométriques et des données radar

Ces données montrent bien que la pluie de l'épisode considéré n'a pas été uniforme sur l'ensemble du bassin de la Serre.

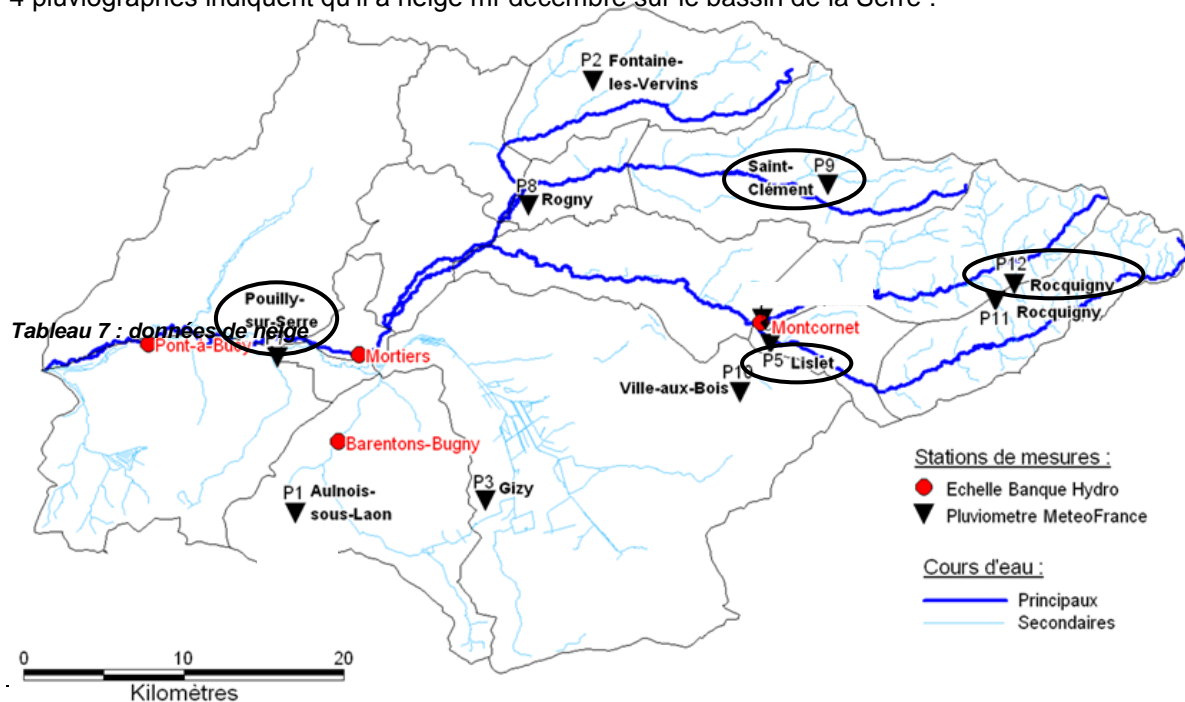
2.2.1.2 Neige

Les données pluviométriques de Météo-France différencient par un code les données de pluie de celles de neige. Le tableau ci-dessous indique en orange les jours où il a neigé :

poste	QM	QM	QM	QM	QM	QM	QM	QM	QM
	2037002	2321002	2346001	2433001	2617001	2652001	2674001	2802001	2856001
	Aulnois-ss-Laon	Fontaine-les-Vv	Gizy	Lislet	Pouilly-s/-Serre	Rogny	St-Clément	Ville-aux-Bois	Rocquigny
01/12/2010	10	5	3	24	3	2	0	0	3
02/12/2010	0	10	0	35	0	7	10	0	5
03/12/2010	0	0	0	0	0	0	0	2	2
04/12/2010	14	80	41	72	23	122	130	40	6
05/12/2010	46	130	80	114	60	98	57	120	16
06/12/2010	0	0	0	0	0	0	0	0	2
07/12/2010	30	20	30	29	21	18	25	35	33
08/12/2010	14	20	23	20	18	7	37	27	30
09/12/2010	0	0	0	6	0	0	0	0	2
10/12/2010	0	0	2	18	0	4	0	15	15
11/12/2010	0	4	1	12	0	7	0	0	12
12/12/2010	0	2	0	0	0	0	0	0	2
13/12/2010	0	0	0	0	0	2	4	0	3
14/12/2010	0	0	3	0	0	0	0	0	1
15/12/2010	2	10	10	30	6	5	20	10	5
16/12/2010	26	83	75	125	58	66	144	132	127
17/12/2010	100	20	160	158	21	29	16	104	52
18/12/2010	70	70	82	100	130	89	17	90	104
19/12/2010	100	105	155	155	197	174	100	185	176
20/12/2010	30	30	32	35	7	12	30	50	43
21/12/2010	4	0	0	6	1	0	0	0	3
22/12/2010	65	20	62	70	50	63	50	80	2
23/12/2010	110	85	2	150	70	62	100	180	27
24/12/2010	0	0	0	10	0	0	0	20	18
25/12/2010	0	0	1	0	0	0	0	0	2
26/12/2010	0	2	0	0	0	0	0	10	1
27/12/2010	0	0	4	0	0	5	0	0	2
28/12/2010	20	14	20	20	15	10	0	0	24
29/12/2010	0	8	4	6	0	9	0	2	12
30/12/2010	2	0	2	0	0	0	0	1	2
31/12/2010	0	0	2	6	2	3	0	0	1
01/01/2011	10	12							2
02/01/2011	0	0							3
03/01/2011	2	2							2
04/01/2011	0	0							3
05/01/2011	87	113							160
06/01/2011	103	275							165
07/01/2011	103	157							83
08/01/2011	155	165							94
09/01/2011	0	0							2
10/01/2011	12	12							64
11/01/2011	75	70							53
12/01/2011	48	111							160
13/01/2011	0	12							45
14/01/2011	30	38							52
15/01/2011	0	0							4

Tableau 6 : Données journalières de neige

4 pluviographes indiquent qu'il a neigé mi-décembre sur le bassin de la Serre :



2.2.1.3 Température

Les données de températures disponibles sur la période du 15 décembre 2010 au 10 janvier 2011 ont été récupérées auprès de Météo-France. Elles sont présentées sur le graphique suivant :

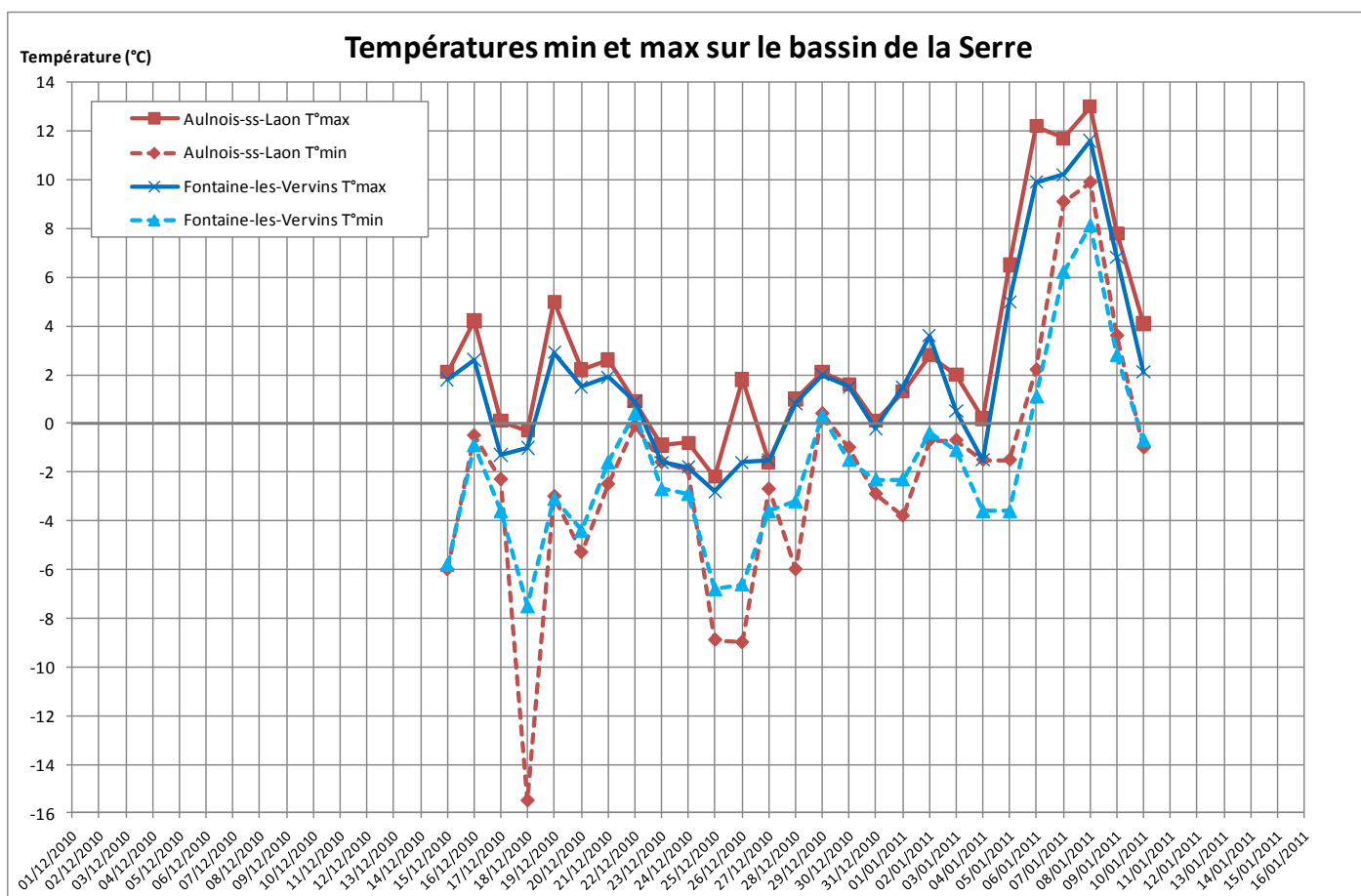


Figure 5 : données de températures

2.2.1.4 Hydrométrie

L'ensemble des données (hydrogrammes et limnigrammes) recueillies aux stations DIREN pour le calage des modèles pluie-débit sont récapitulées dans le tableau suivant :

Station	Nom	Déc 2010	Jan 2011
H7102020	Montcornet	Q(t), Z(t)	Q(t), Z(t)
H7142010	Mortiers	Q(t), Z(t)	Q(t), Z(t)
H7162010	Pont-à-Bucy	Q(t), Z(t)	Q(t), Z(t)

Tableau 8 : données hydrométriques

Le débit maximal observé à la station de Montcornet est de 39.1 m³/s et de 85.2 m³/s à Pont-à-Bucy. D'après l'analyse statistique des débits à ces stations, effectuée lors d'études précédentes, la crue de janvier 2011 s'avère une **crue de période de retour 30 ans à Montcornet et 25 ans à Pont-à-Bucy.**

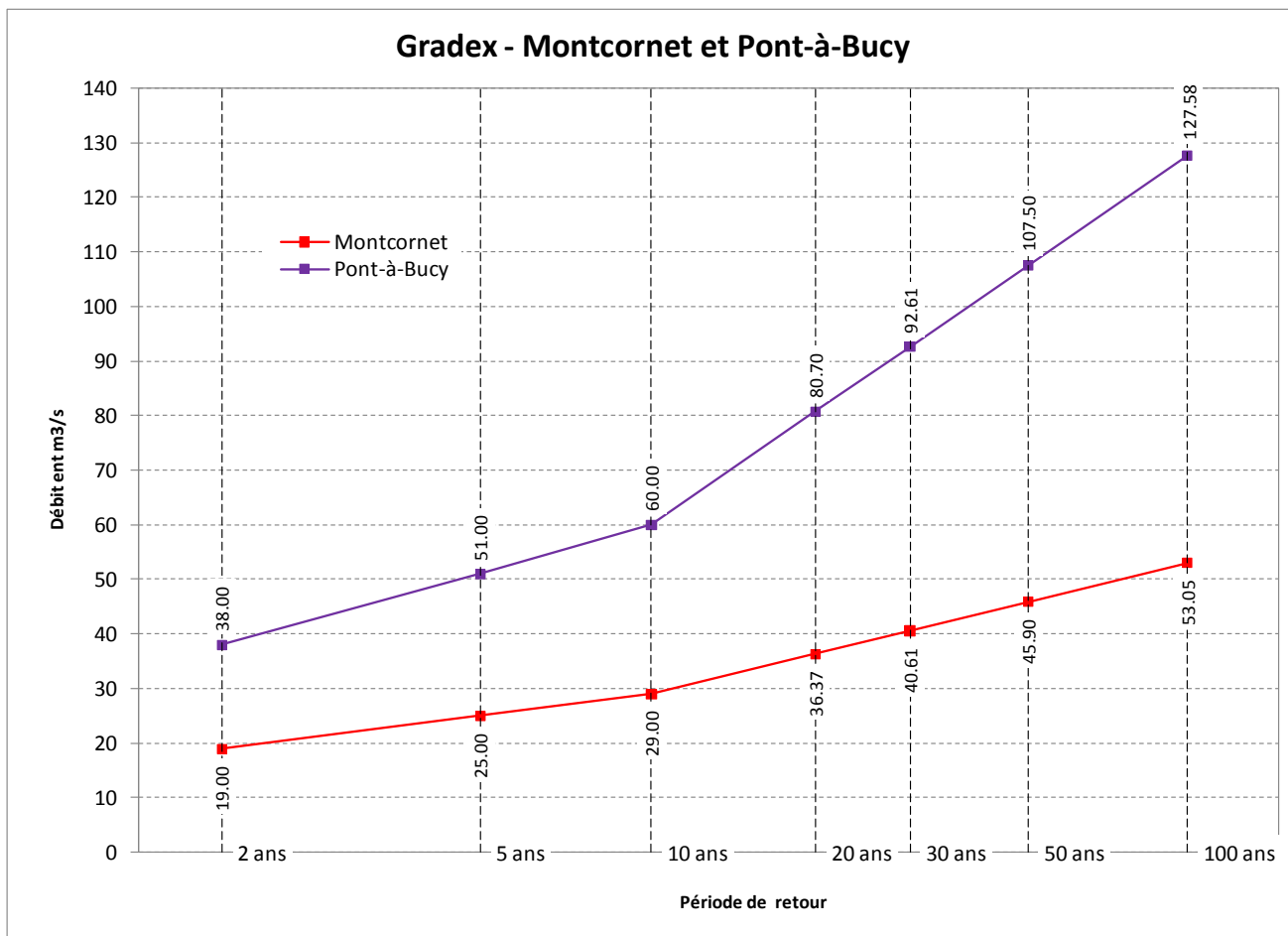


Figure 6 : Débits et périodes de retour aux stations de Montcornet et Pont-à-Bucy

2.2.2 Calcul de la lame d'eau moyenne

Le calcul de la lame d'eau moyenne par bassin versant repose sur le découpage de la zone d'étude en « Zones de Pluviométrie Élémentaire » (ZPE).

Ces zones sont le croisement de deux informations :

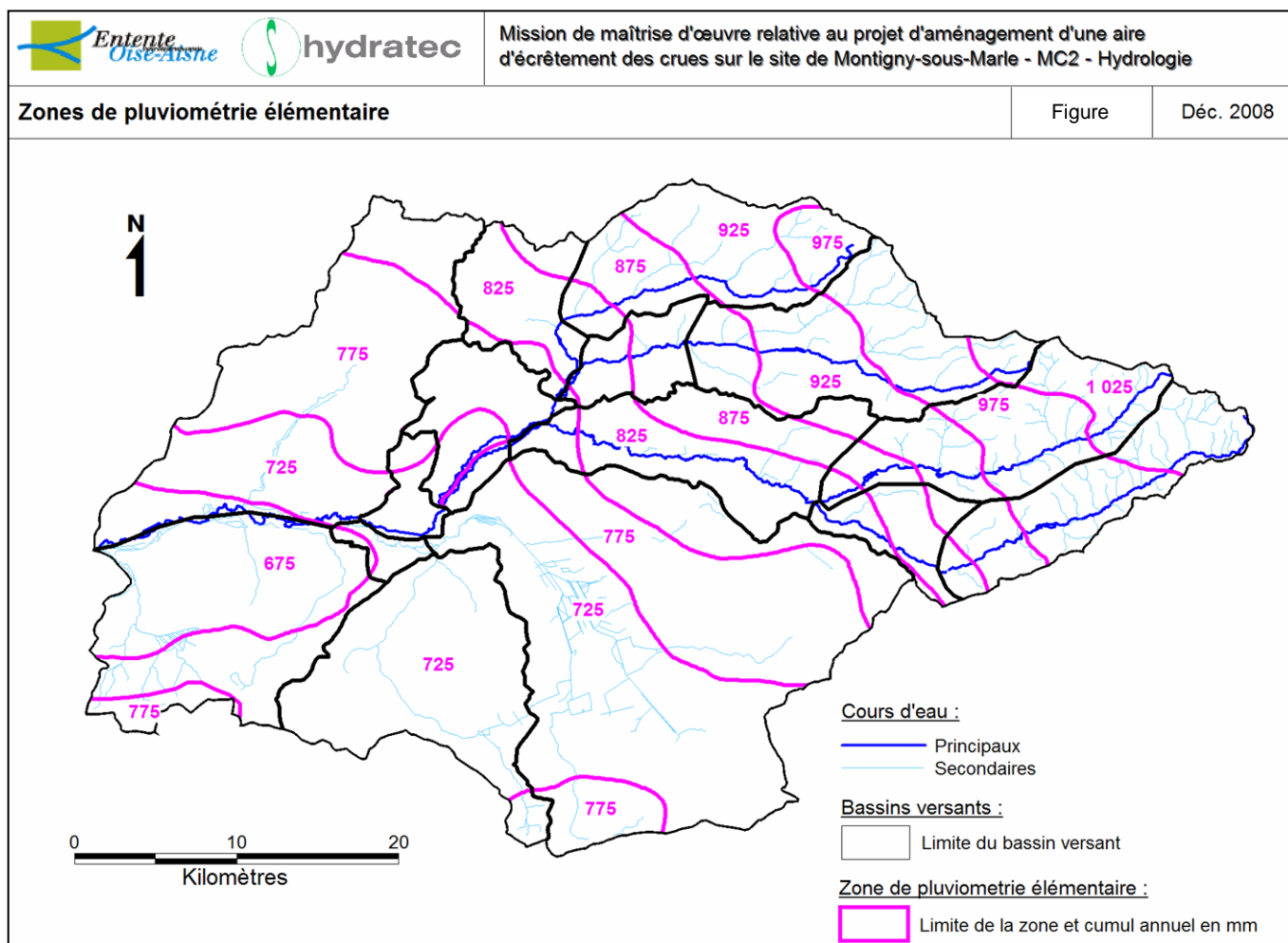
- le gradient de pluviométrie, représenté par les isohyètes annuelles (la carte des isohyètes annuelles a été présentée paragraphe 2.1.3),
- le découpage en bassin versant tel que présenté paragraphe 2.1.3.

Il est à noter qu'à chaque zone de pluviométrie élémentaire est affecté un coefficient de pondération représentatif du gradient de pluviométrie que l'on appellera ci après « *coefficient de gradient pluviométrique* ». Ce coefficient est la valeur annuelle de précipitation telle que définie dans la carte de répartition annuelle de pluviométrie. Une zone élémentaire de pluviométrie située à l'est du bassin versant aura donc plutôt un coefficient de l'ordre de 1000 alors qu'une zone située à l'ouest aura plutôt un coefficient de l'ordre de 700.

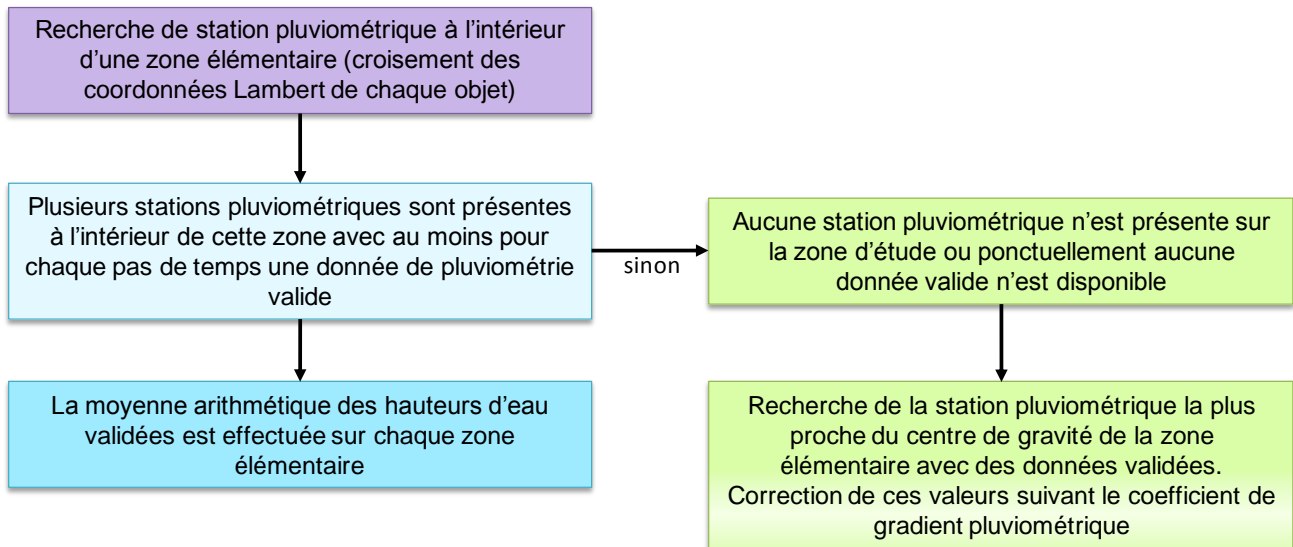
La lame d'eau moyenne calculée à l'échelle du sous-bassin versant est alors la moyenne pondérée par la surface, et par le coefficient de gradient pluviométrique, des hauteurs d'eau enregistrées sur chaque zone élémentaire.

Le découpage adopté en zones de pluviométrie élémentaire est présenté sur la carte donnée ci-dessous :

Figure 7 : zones de pluviométrie élémentaire



Le calcul de la lame d'eau moyenne sur chaque zone élémentaire a été automatisé avec un programme structuré comme suit :



Ainsi :

- Dans le cas où une ou plusieurs stations pluviométriques avec des données valides sont présentes dans la zone élémentaire de pluviométrie alors, la hauteur d'eau calculée à l'intérieur de cette zone est :

$$H_z = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}, \quad \text{avec } P_i \text{ pluviométrie mesurée à la station } i.$$

- Dans le cas où aucune station pluviométrique avec des données valides n'est présente dans la zone élémentaire de pluviométrie alors, la hauteur d'eau calculée à l'intérieur de cette zone est :

$$H_z = \frac{k_z}{k_i} P_i, \quad \text{avec } P_i \text{ station pluviométrique la plus proche de la zone } z.$$

et k_z , k_i : coefficients de gradient pluviométrique de la zone z et du pluviomètre i .

La procédure ainsi réalisée permet d'affecter à chaque zone élémentaire et pour chaque pas de temps de simulation une valeur de pluviométrie.

Le calcul de la lame d'eau moyenne par sous-bassin versant est effectué suivant la formule donnée ci-après.

$$H_{BV} = \frac{\sum_z S_z \cdot H_z}{\sum_z S_z},$$

Avec : S_z : Aire de la zone élémentaire appartenant au sous bassin versant considéré ;
 H_z : Hauteur pluviométrique calculée sur la zone élémentaire.

On obtient pour chaque sous-bassin versant le cumul de pluie sur la période intense du 04/01/2011 au 14/01/2011, donné dans le tableau ci-dessous :

Bassin versant	Identifiant de la crue
	J11
	Durée de l'évènement intense (jours)
	Cumul de pluie (mm)
VilpionAM	94.9
BruneAM	88
SerreAM	85.5
HurtautAM	84.1
HurtautAV	79.5
SerreAV	76.9
BruneAV	81
VilpionAV	89.1
VilpionLAT	76.3
SerreLAT	72.2
SoucheAM	61.6
Barentons	58.1
SoucheAV	67.6
BovBroyRuch	65.2
Peron	72.5

Tableau 9 : cumul de pluie des bassins versants pour la crue de janvier 2011

	Valeur minimum
	Valeur maximum

2.2.3 Elaboration du modèle Pluie – Débit

La transformation pluie-débit est réalisée à l'aide du module Hydra-Bv développé par Hydratec.

2.2.3.1 Bassins versants amont – Méthode SCS modifiée

Pour les bassins versants amont, situés en amont de Montigny-sous-Marle, plutôt ruisselants, on utilise le modèle dont le schéma est présenté sur la figure ci-après.

Dans ce modèle, le sol est décomposé en deux couches superposées :

- la Réserve Facilement Utilisable (RFU),
- la couche de sol intermédiaire (J),

La RFU est la couche de sol directement alimentée par la pluie brute et qui se vidange par évapotranspiration. En cas de saturation, l'excédent rejoint la couche de sol intermédiaire.

La couche de sol intermédiaire, alimentée par l'excédent de la couche RFU, se vidange par ressuyage et par ruissellement. De plus, cette couche peut aussi se vider par pertes (faibles en général) vers les couches profondes.

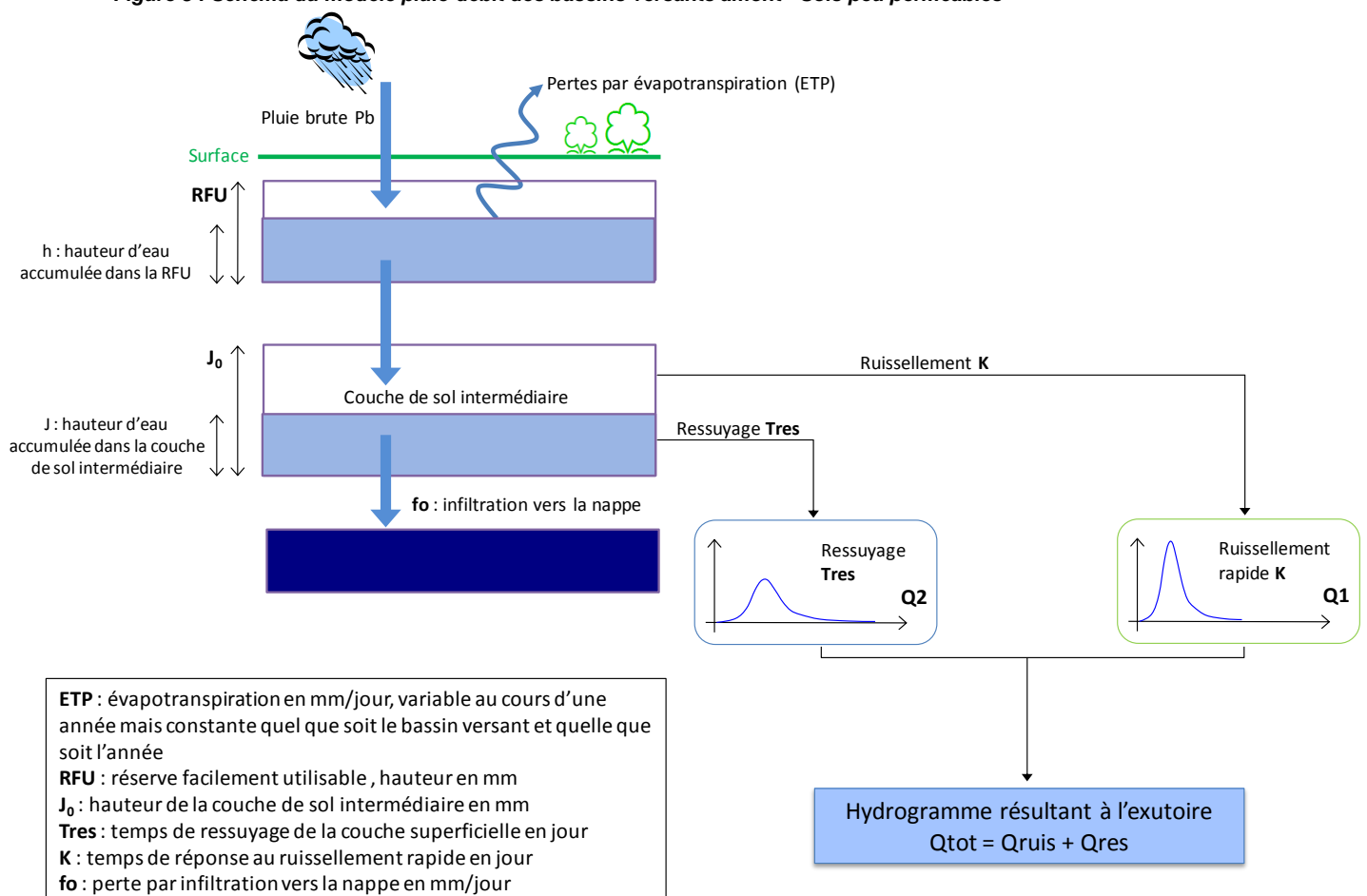
L'hypothèse fondamentale consiste à supposer que la couche de sol intermédiaire se comporte comme une éponge dont le taux d'absorption varie en sens inverse du niveau d'imbibition : la partie non absorbée ruisselle. Par ailleurs, en l'absence de précipitation, le sol se ressuie lentement, le débit de ressuyage étant supposé proportionnel à la hauteur de lame d'eau accumulée dans le sol.

Ce modèle très simple dans sa conception, est défini par 7 paramètres :

- S_{bv} : Surface efficace du bassin versant en km^2 .
- ETP : Evapotranspiration en mm/jour.
- RFU : Hauteur de la Réserve Facilement Utilisable exprimée en mm.
- J_0 : La hauteur d'interception potentielle du sol en mm.
- K : Le temps de réponse du bassin au ruissellement rapide, en jours.
- T_{res} : Le temps de réponse du bassin au ressuyage, en jours.
- f_0 : Perte par infiltration vers les couches profondes en mm/jour.

Rappel : Ce modèle convient plutôt pour des sols peu perméables.

Figure 8 : Schéma du modèle pluie-débit des bassins versants amont - Sols peu perméables



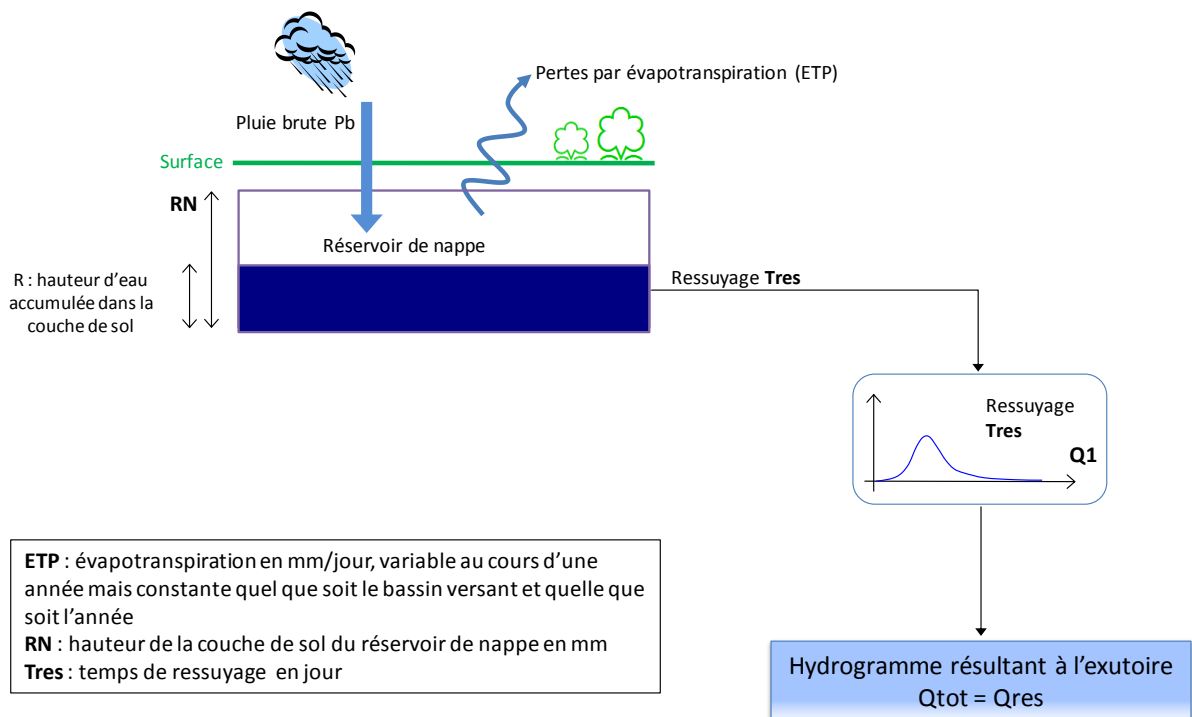
2.2.3.2 Bassins versants aval – Méthode pour sols perméables

Le sol est composé d'une seule couche alimentée directement par la pluie brute. Elle peut se vidanger par évapotranspiration et par ressuyage.

Ce modèle très simple dans sa conception, est défini par 4 paramètres :

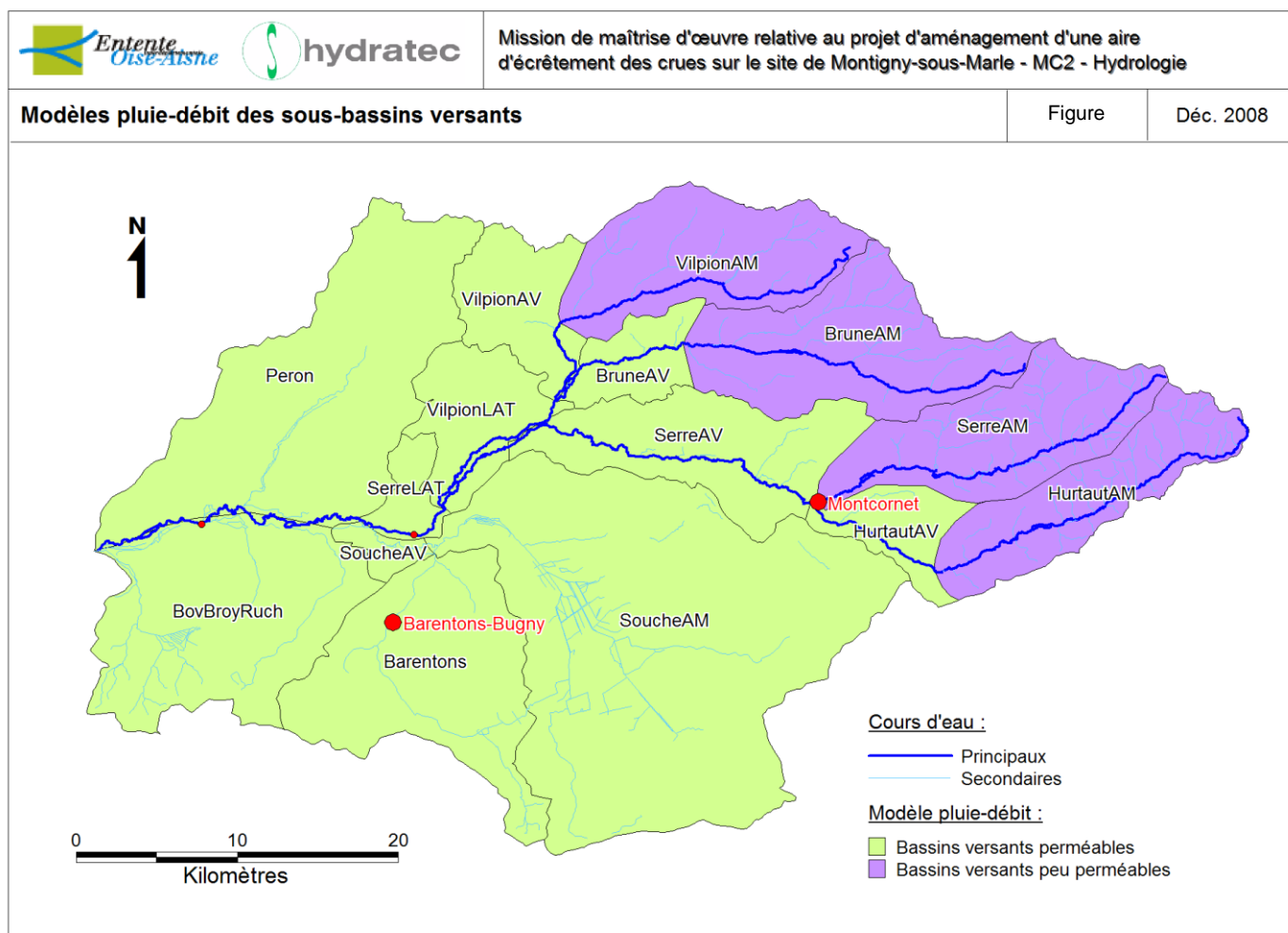
- S_{bv} : Surface efficace du bassin versant en km^2 .
- ETP : Evapotranspiration en $mm/jour$.
- RN : Hauteur du réservoir de nappe en mm .
- Tres : Le temps de réponse du bassin au ressuyage, en jours.

Figure 9 : Schéma du modèle pluie-débit des bassins versants aval - Sols perméables



La carte des modèles pluie-débit choisis est donnée ci-après :

Figure 10 : Carte des modèles pluie-débit des sous-bassins versants



2.2.4 Résultats du calage précédent

Au cours de l'étude hydrologique et hydraulique réalisée par Hydratec en février 2010 (mission MC2), le calage direct des modèles pluie-débit a été réalisé sur 2 points de mesure en débit aux stations :

- Montcornet sur la Serre correspondant au bassin versant SerreAM,
- Barenton-Bugny sur le Ruisseau des Barentons correspondant au bassin versant Barentons.

Un point de mesure de hauteur était également disponible :

- Montcornet sur la Serre correspondant au bassin versant SerreAM.

Deux sous-bassins versants sont calés directement avec ces mesures, les autres sous-bassins versants sont calés après construction du modèle hydraulique jusqu'aux stations de Mortiers et Pont-à-Bucy.

Les paramètres de calage retenus sont consignés dans les tableaux présentés ci-dessous :

BV	Sbv (km ²)	J ₀ (mm)	RFU (mm)	Tres (jour)	fo (mm/jour)	K (jour)
SerreAM	114	140	60	45	0	0.66

BV	Sbv (km ²) *	RN (mm)	Tres (jour)
Barentons	52.5	110	160

* La superficie du bassin versant constitue un paramètre de calage pour les modèles de type sols perméable, la valeur calée étant nommée surface active. Le ratio entre la surface active et la surface réelle est ici de 0.58.

Les écarts entre calcul et mesure sur la pointe de débit de crue sont synthétisés dans le tableau présenté ci-dessous.

Le pourcentage d'erreur sur le débit de pointe est calculé comme suit : $\Delta Q = 100 * \left(\left(\frac{Q_{\text{calculé}}}{Q_{\text{observé}}} \right) - 1 \right)$

Pour la station de Montcornet, au dessus de 25 m³/s, la DIREN ne fournissant plus d'estimation des débits, **on analyse pour l'instant les pointes de débit inférieures à 25 m³/s**. Les pointes de débits supérieures sont calées grâce à une analyse des hauteurs à la station.

Crue	Serre à Montcornet			Barentons à Barenton-Bugny		
	Q _{calculé} (m ³ /s)	Q _{observé} (m ³ /s)	Ecart au maximum	Q _{calculé} (m ³ /s)	Q _{observé} (m ³ /s)	Ecart au maximum
F07	16.5	16.2 ⁽¹⁾	2%	-	-	-
N06	14.9	12	24%	-	-	-
D02	25	19 ⁽¹⁾	32%	-	-	-
O02	25	18	39%	-	-	-
N01	16.8	16.6	1%	-	-	-
M01	18.9	18.8	1%	1.7	2.05	-17%
D00	19	17.8	7%	-	-	-
N00	14.5	12.1	20%	-	-	-
D99	22	24	-8%	0.8	0.55	45%
F99	14	18	-22%	-	-	-
J95	-	-	-	0.99	0.9	10%
D93	27	24.5 ⁽¹⁾	10%	1.1	1.15	-4%

Tableau 10 : résultats de calage du modèle pluie débit sur la valeur maximale de débit observée pour chaque événement simulé ; seules les pointes inférieures à 25 m³/s sont analysées ici.

- : Signifie que les données observées du maximum ne sont pas valides, l'écart n'est donc pas calculé.

(1) : calculé sur la première pointe de crue, moins importante que la seconde.

L'écart moyen sur les pointes de débit de la Serre est de 15% (en valeur absolue).

2.2.5 Analyse de la crue de janvier 2011

Pour la crue de janvier 2011, nous disposons pour le calage direct des modèles pluie-débit d'un seul point de mesure en débit :

- A la station de Montcornet sur la Serre correspondant au bassin versant SerreAM.

Dans un 1^{er} temps, le modèle pluie-débit initial est repris et l'épisode pluvieux de janvier 2011 est testé.

Le graphique suivant permet de comparer :

- Les débits calculés par le modèle pluie-débit sur le bassin versant SerreAM
- Avec les débits mesurés à la station de Montcornet
- Ainsi que les précipitations journalières mesurées au pluviographe de Rocquigny, situé à proximité du bassin versant considéré.

La pluie et la neige sont distinguées.

Le graphique met en évidence deux points :

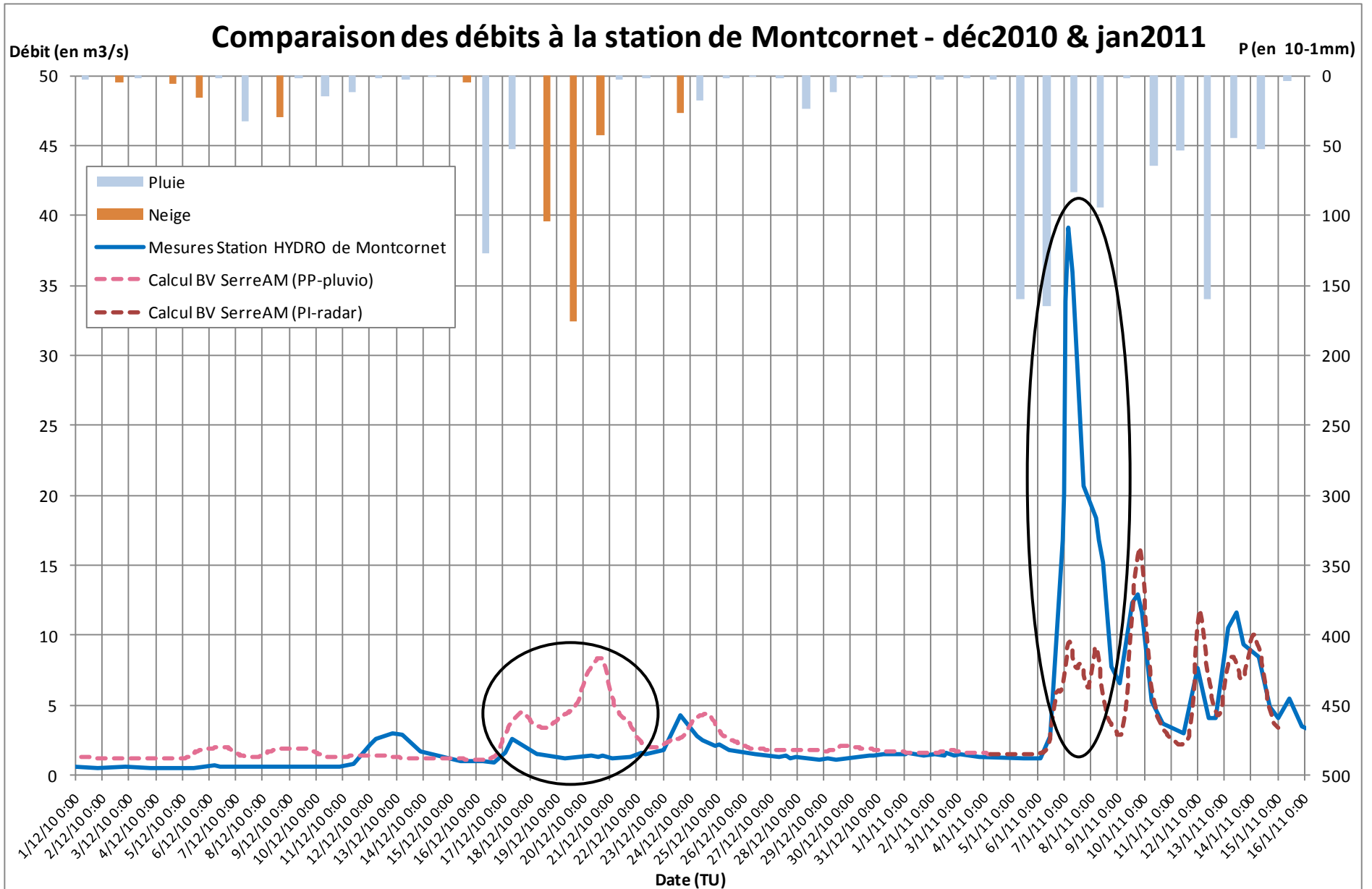
- Le modèle pluie-débit actuel, qui considère la neige comme de la pluie, réagit à l'épisode neigeux du 18-20 décembre 2010, alors que les mesures montrent un débit quasi constant à la station de Montcornet
- Inversement, le modèle produit un débit nettement inférieur aux mesures suite aux précipitations de janvier 2011.

La pointe de débit observée à la station de Montcornet, et induisant la crue de janvier 2011 qui nous concerne, s'explique par un événement pluvieux soutenu entraînant la fonte des neiges stockées sur les bassins versants amont.

Or, le modèle pluie-débit actuel ne prend en compte le stock de neige.

L'analyse des calculs effectués en temps réel par les modèles pluie débit du SPC Oise-Aisne sur cette crue montraient également la nécessité de prendre en compte ce paramètre neige pour restituer les volumes effectivement ruisselés.

Figure 11 : Résultats du calage du modèle pluie-débit sur le bassin versant SerreAM sans le module neige



2.2.6 Ajout d'un module spécifique neige et calage

Le modèle pluie débit Hydra BV a donc été enrichi d'un module intégrant le stock de neige à l'échelle de chaque sous bassin versant.

Ce nouveau module est présenté en annexe.

Le paramétrage du module neige est effectué à la station de Montcornet, par comparaison des cotes mesurées à la station hydrométrique et calculées avec le modèle pluie-neige-débit.

Les paramètres de calage retenus sont consignés dans les tableaux présentés ci-dessous :

BV	Sbv (km ²)	J ₀ (mm)	RFU (mm)	Tres (jour)	fo (mm/jour)	K (jour)	Alpn	Etpn	Tresn (jour)
SerreAM	114	140	60	45	0	0.66	2	0	0.5

Ainsi, seul le sous-bassin versant SerreAM est calé directement avec ces mesures, les autres sous-bassins versants sont calés après construction du modèle hydraulique jusqu'aux stations de Mortiers et Pont-à-Bucy (Nouvion).

On obtient les résultats de calage suivants :

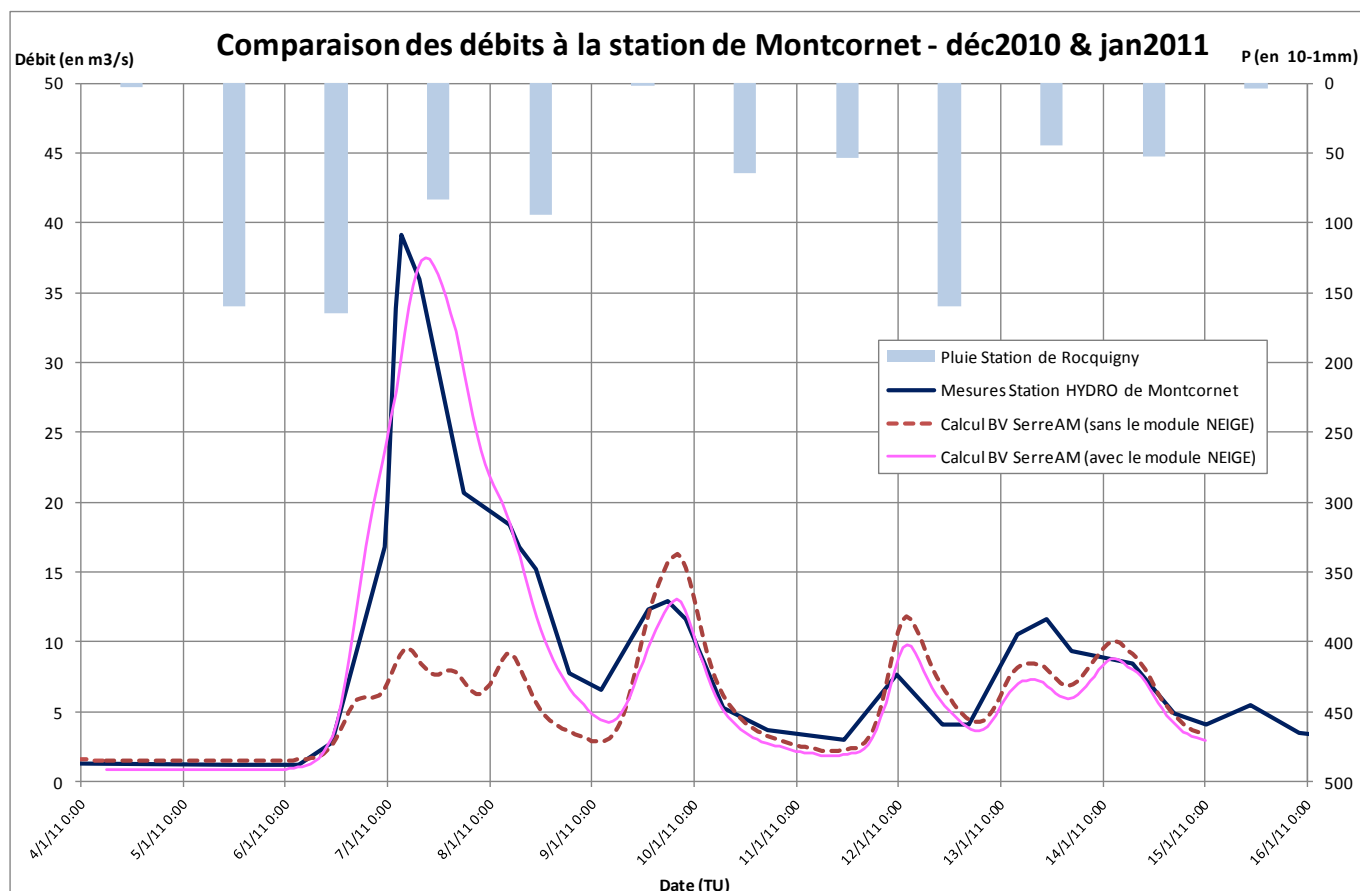


Figure 12 : Comparaison des débits à la station de Montcornet avec et sans le module neige

3 MODELISATION HYDRAULIQUE

3.1 PRESENTATION DU MODELE

3.1.1 Généralités

Le modèle est élaboré à partir de plusieurs sources de données topographiques levées dans le cadre d'études hydrauliques précédentes.

Le modèle en quelques chiffres :

- **1 800 km²** : surface totale du bassin versant de la Serre,
- **15** sous bassins versants modélisés,
- **140 km** de cours d'eau modélisés,
- **112 km** de cours d'eau principaux : Serre, Vilpion, Souche, Brune, Hurtaut soit **21 biefs**,
- **28 km** de cours d'eau secondaire : bras usiniers, ruisseaux, canaux... soit **9 biefs**,
- **6.8 km²** modélisé à 2 dimensions répartis en **5 300 pavés** élémentaires,
- **57** singularités représentant les ponts,
- **9** seuils ou vannages

3.1.2 Ouvrages et travaux réalisés depuis 1993

Le modèle utilisé pour la présente étude tient compte des travaux suivants, **réalisés dans la traversée de Marle** après la crue de décembre 1993 :

- Cinq premières tranches de travaux réalisées sur les lits de la Serre et du Vilpion suite à l'étude de Lutte contre les inondations – Etude hydraulique – Syndicat Intercommunal de Curage de la Vallée de la Serre (Hydratec, 1994) : mise en place d'un clapet au droit de la brèche de Marcy, recalibrage du lit mineur du Vilpion entre le Pont de la Madeleine et le Moulin de la Plaine, recalibrage du bras de décharge du Moulin de la Plaine et pose d'un clapet au droit du déversoir,
- Suppression de certains bâtiments annexes du Moulin de la Plaine situés en zone inondable,
- Rehausse du haut de la berge en rive gauche du Vilpion en aval du Pont Charles de Gaulle,
- Suppression des bâtiments de la sucrerie en rive droite du Vilpion en amont du Pont de la Madeleine,
- Endiguement de l'usine Bayer,
- Rehausse de la digue en amont de l'usine Bayer le long de la voie ferrée actuelle.

Sont également intégrés au modèle les **travaux de surélévation du pont de la Madeleine** qui avaient été programmés par le Conseil Général. Avec ces travaux, l'écoulement sous le pont n'est plus en charge, la perte de charge est nulle à ce point.

On appelle par la suite « situation de référence » toutes les simulations effectuées avec ce modèle calé intégrant la surélévation du pont de la Madeleine.

3.1.3 Principes de modélisation retenus et structure du modèle

Le modèle est réalisé avec le logiciel HYDRARIV, conçu et développé par Hydratec.

Les trois représentations d'écoulement offertes par HYDRARIV ont été utilisées :

- La **schématisation filaire** qui repose sur la résolution des équations de Barré de Saint Venant à lits composés, avec des lois de partage entre les différents lits qui sont conçues pour reproduire au mieux les cotes d'eau dans le lit mineur, les temps de propagation et la déformation des ondes de crues influencées par l'action de laminage joué par le lit majeur.
- La **modélisation bidimensionnelle** qui repose sur la résolution des équations de Barré de Saint Venant à deux dimensions à l'aide d'une méthode de volumes finis. Cette méthode intègre tous les termes intervenant dans les équations de Barré de Saint Venant, y compris les termes convectifs qui peuvent influencer les cotes des lignes d'eau dans les zones à fort gradients de vitesse, ainsi que la structure du champ de vitesse.
- Enfin la **modélisation en casiers** constitue une simplification de la modélisation du domaine bidimensionnel : chaque casier est assimilé à un plan d'eau local dont le niveau varie en fonction de lois d'échange avec les autres entités surfaciques via des liaisons latérales. Dans cette formulation les débits d'échange sont fonction de la nature de la liaison et de la différence des cotes d'eau dans les casiers adjacents.

Ces schémas de modélisation sont représentés sur la figure ci-dessous :

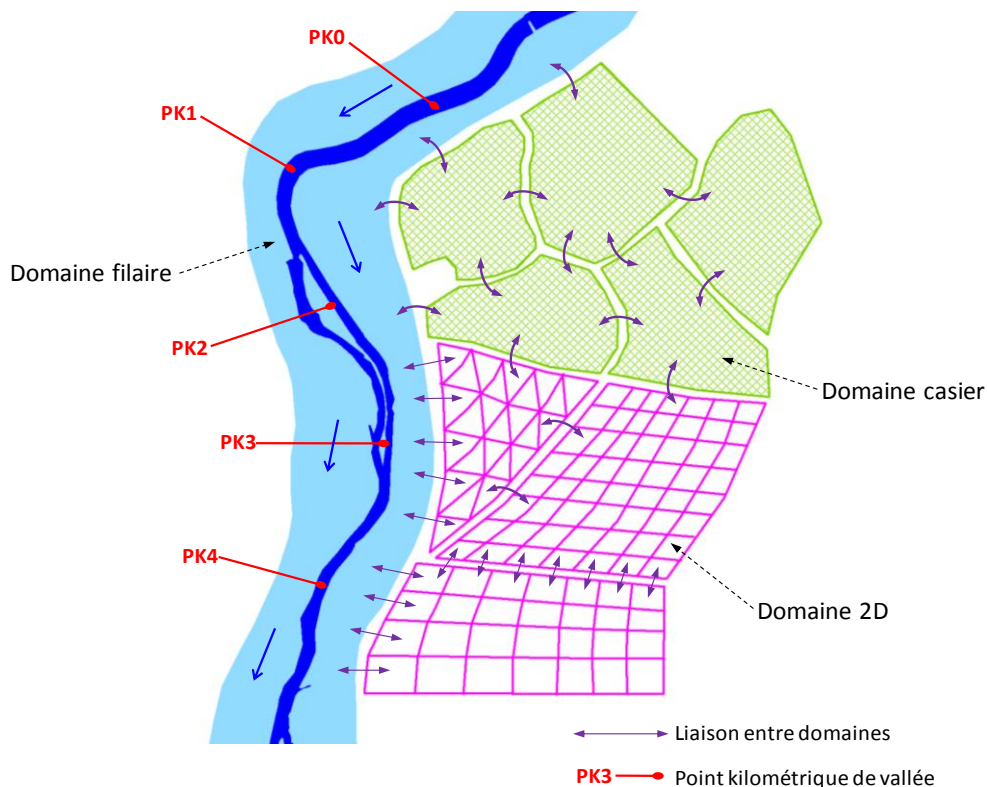


Figure 13 : schémas de modélisation d'HYDRARIV

5 zones ont été définies comme suit :

- Zone 1 : Serre et Hurtaut en amont de Cilly : modélisation filaire avec environ 1 profil en travers du lit mineur et majeur tous les 700 m,
- Zone 2 : Brune et Vilpion en amont de la confluence Brune-Vilpion : modélisation filaire avec environ 1 profil en travers du lit mineur et majeur tous les 1000 m,
- Zone 3 : Vallée du Vilpion et de la Serre entre Thiernu, Cilly et les bassins de la sucrerie : modélisation à deux dimensions du lit majeur et modélisation filaire du lit mineur, permettant une analyse fine des niveaux d'eau et des impacts de la future retenue de surstockage dans Marle et en amont de Marle, la surface modélisée s'étend sur 6.8 km²,
- Zone 4 : Serre et Vilpion en aval des bassins de la sucrerie jusqu'à la confluence Serre-Vilpion : modélisation filaire avec environ 1 profil du lit mineur et majeur tous les 600 m,
- Zone 5 : Serre et affluents de la confluence avec le Vilpion jusqu'à la confluence avec l'Oise : modélisation filaire avec environ un profil du lit mineur et majeur tous les 1500 m.

Remarque : ne disposant que de peu de données topographiques du lit majeur en aval de la confluence Vilpion-Serre une modélisation filaire à une dimension, avec données du lit majeur extraites des cartes au 1/25000^{ème} a été choisie pour remplacer la modélisation filaire avec casiers en lit majeur ou multifilaire qui aurait été plus appropriée. Cela aurait permis de représenter les écoulements lents, dans une vallée inondable très large avec effets de laminage importants conditionnés par les digues de la Serre. Ces digues sont prises en compte dans notre modélisation filaire à une dimension sous une forme plus simplifiée pour laquelle les échanges entre le lit mineur et majeur ne tiennent pas compte des temps de retard à la décrue engendrés par le destockage du lit majeur.

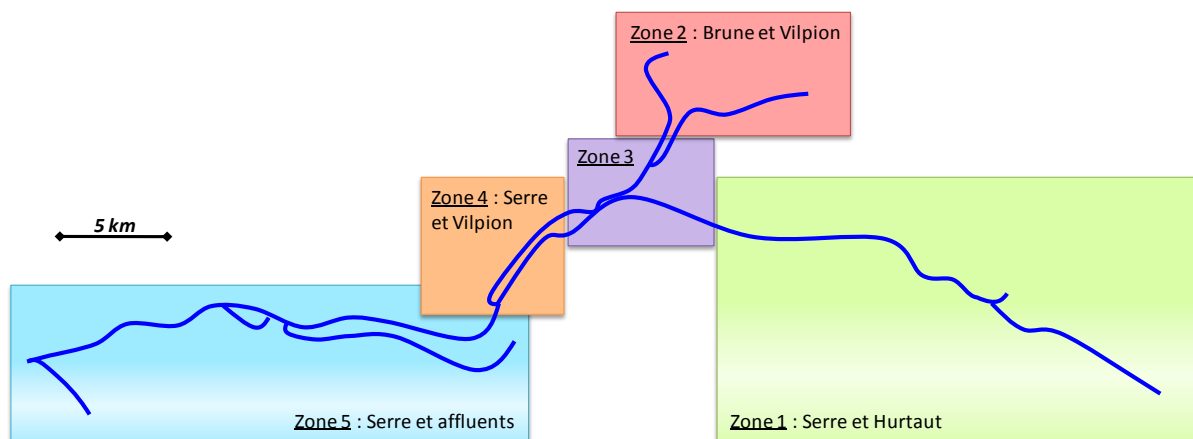
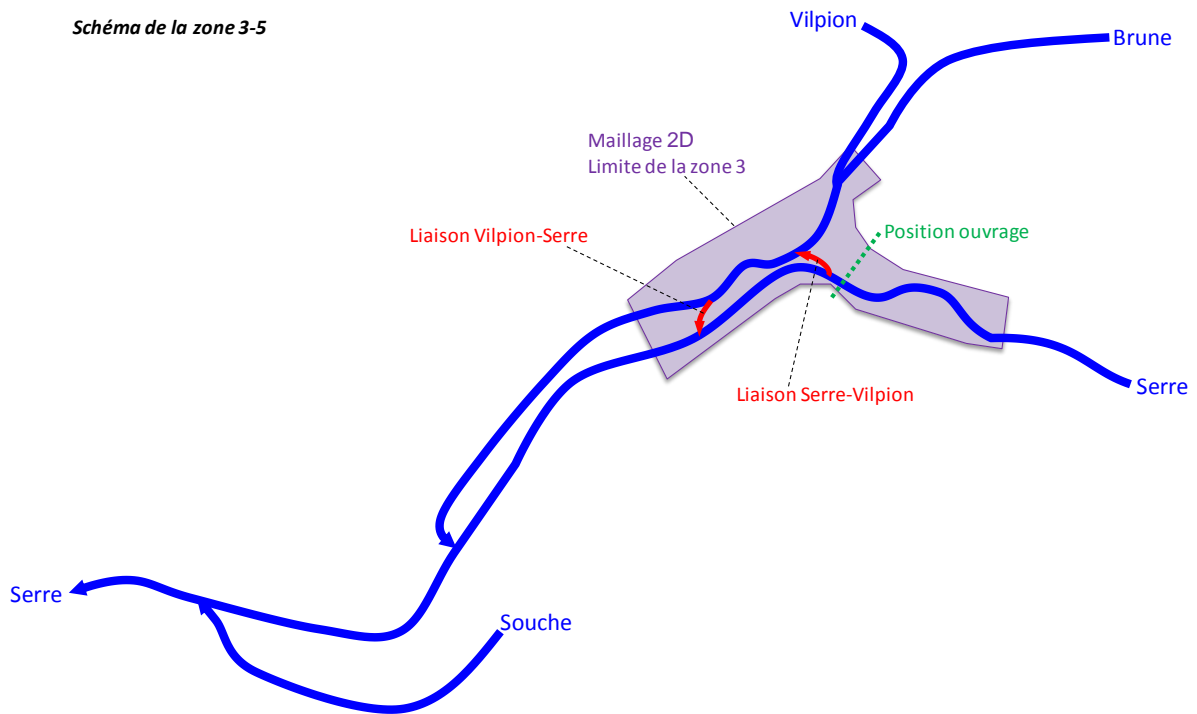
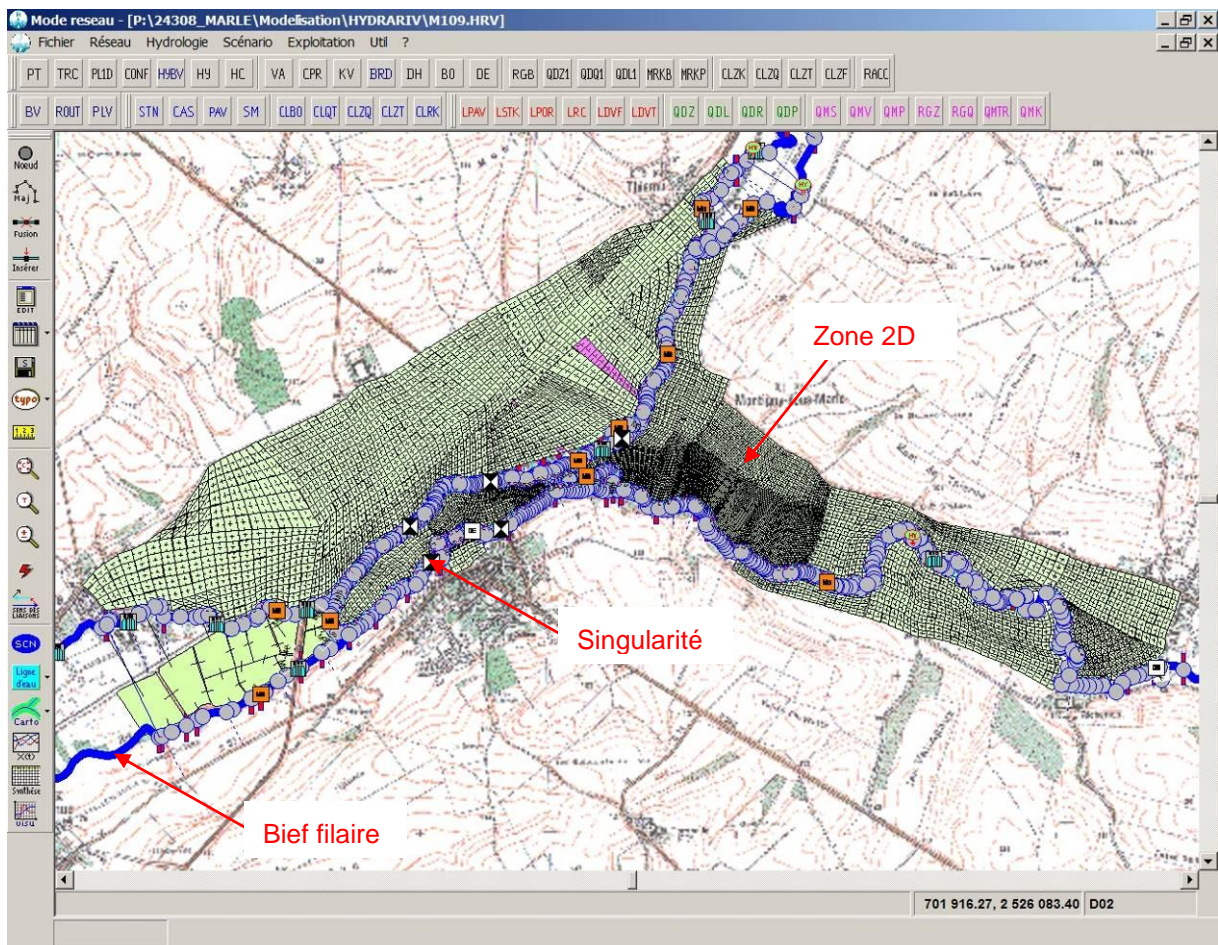


Figure 14 : schémas de la structure du modèle réalisé sous HYDRARIV

Schéma de la zone 3-5



Zone 3, modélisation 2D, visualisée sous HYDRARIV :



3.2 SIMULATION DE LA CRUE DE JANVIER 2011 DANS LA SITUATION DE REFERENCE

3.2.1 Préambule : 2 hypothèses de neige

Au vu des données de neige sur 4 pluviographes repartis principalement sur les bassins versants amont, deux hypothèses distinctes ont été considérées :

- Il a neigé en décembre sur les bassins versants amont, sauf le VilpionAM
- Il a neigé en décembre sur tous les bassins versants amont, y compris le VilpionAM

<i>Bassin versant</i>	<i>Hypothèse 1</i>	<i>Hypothèse 2</i>
VilpionAM		NEIGE
BruneAM	NEIGE	NEIGE
SerreAM	NEIGE	NEIGE
HurtautAM	NEIGE	NEIGE
HurtautAV		
SerreAV		
BruneAV		
VilpionAV		
VilpionLAT		
SerreLAT		
SoucheAM		
Barentons		
SoucheAV		
BovBroyRuch		
Peron		

Tableau 11 : Hypothèses de neige

3.2.2 Comparaison des débits et hauteurs aux stations Hydro

Les graphiques suivants représentent les hydrogrammes et limnigrammes aux 3 stations hydrométriques du bassin de la Serre, permettant de comparer les résultats du calcul et les mesures.

Sur chaque graphique, le calcul est représenté en vert et la mesure en bleu. L'axe des abscisses indique le temps depuis le début de la crue en heures. L'axe des ordonnées est en m^3/s (débit) ou mNGF (cote).

De gauche à droite, on trouve les stations de Montcornet, Mortiers, Pont-à-Bucy (Nouvion). En haut, les débits, en bas les cotes.

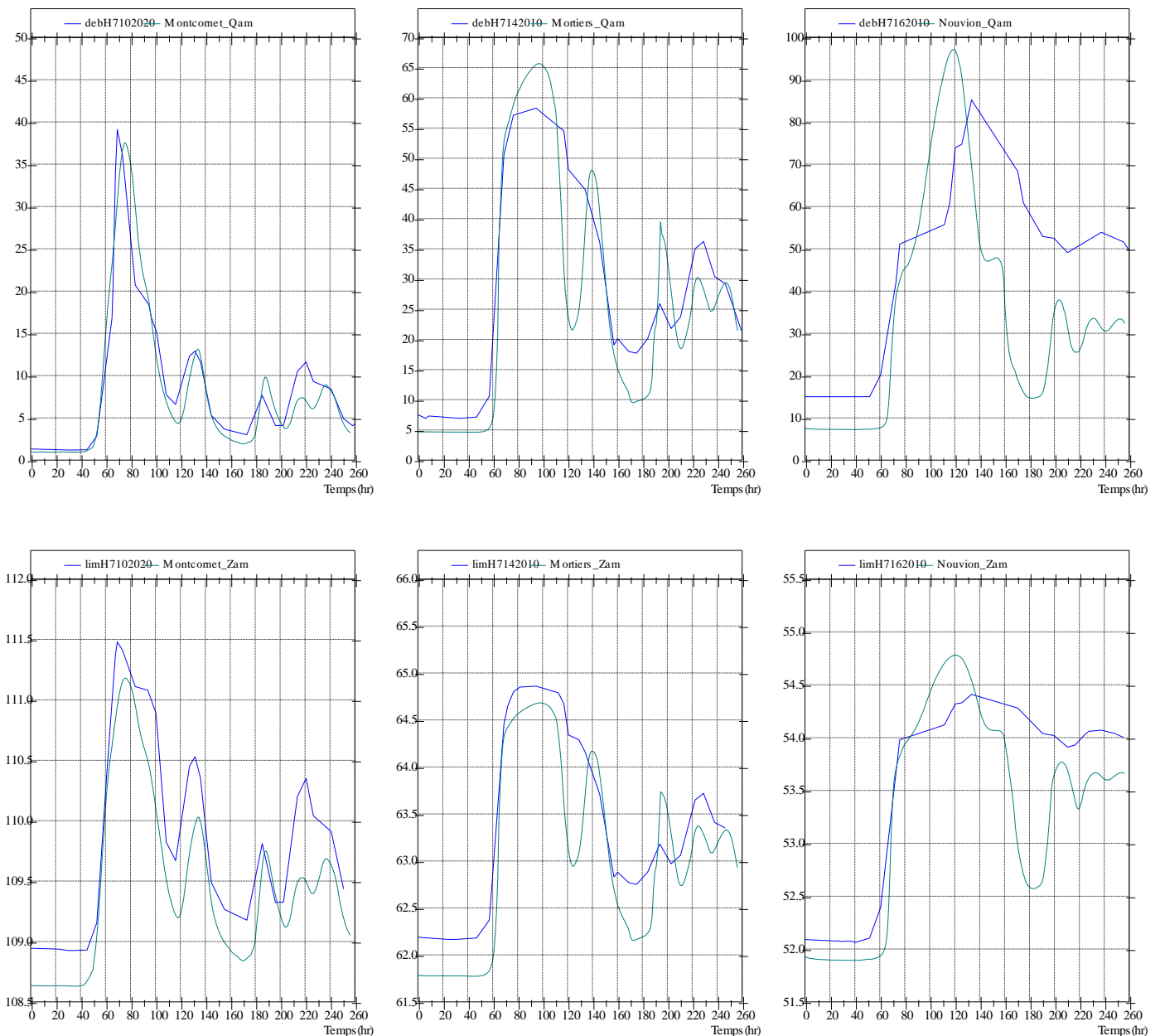


Figure 15 : Calage en débits et en cotes aux stations Hydro

Commentaires :

- Le modèle hydraulique donne des bons temps de réponse sur les débits à Mortiers et Montcornet, les temps de montée et de décrue sont bien reproduits. Ces comparaisons confirment le calage des apports des bassins versants non-jaugés du modèle pluie-débit, en particulier : Hurtaut amont, Brune amont et Vilpion amont.
- Les niveaux d'eau semblent sous-estimés aux différentes stations, mais la forme des limnigrammes et des hydrogrammes est correcte.
- A Pont-à-Bucy, les hauteurs et débits présentent un écart important par rapport aux valeurs mesurées (valeurs maximales et formes), étant donnée la précision attendue du modèle dans cette zone ce point de calage n'a pas été particulièrement approfondi. Il semble qu'à partir de Mortiers on ne représente pas correctement l'écrêtement dans le lit majeur et les temps de retard induits, prépondérant dans cette zone.

3.2.3 Laisses de crue et profils en long du Vilpion et de la Serre

Nous disposons de 2 laisses de crue :

<i>Adresse</i>	<i>Z mesurée</i>	<i>Cours d'eau</i>	<i>Pavé Modèle</i>	<i>Branche modèle</i>	<i>PK modèle</i>
14 rue de la Chapelle St-Nicolas	79.265	Serre	00620415	41	26.1
74 rue Charles de Gaulle	78.905	Vilpion	00640403	44	9.75

Tableau 12 : laisses de crue

Les graphiques ci-après représentent les profils en long des lignes d'eau du Vilpion et de la Serre dans la traversée de Marle calculées par le modèle pour les 2 hypothèses de neige.

Commentaires :

- Le modèle hydraulique a tendance à sous-estimer le niveau d'eau dans la Serre, la laisse de crue étant supérieure aux calculs d'environ 30 cm.
- Le modèle hydraulique reproduit une ligne d'eau dans le Vilpion conforme à la laisse de crue, lorsque l'on considère qu'il a neigé sur le bassin versant du Vilpion en décembre et que la pluie de janvier a entraîné cette neige, engrant alors la crue. Sans la neige, la ligne d'eau s'avère trop basse d'environ 30 cm par rapport à la laisse de crue.
- Le nombre de laisses de crue étant faible, le calage du modèle en cote reste approximatif. Toutefois, il permet d'écarter l'hypothèse de « non-neige » sur le bassin du VilpionAM et d'avoir une estimation de la ligne d'eau sur l'ensemble du Vilpion et de la Serre dans la traversée de Marle.

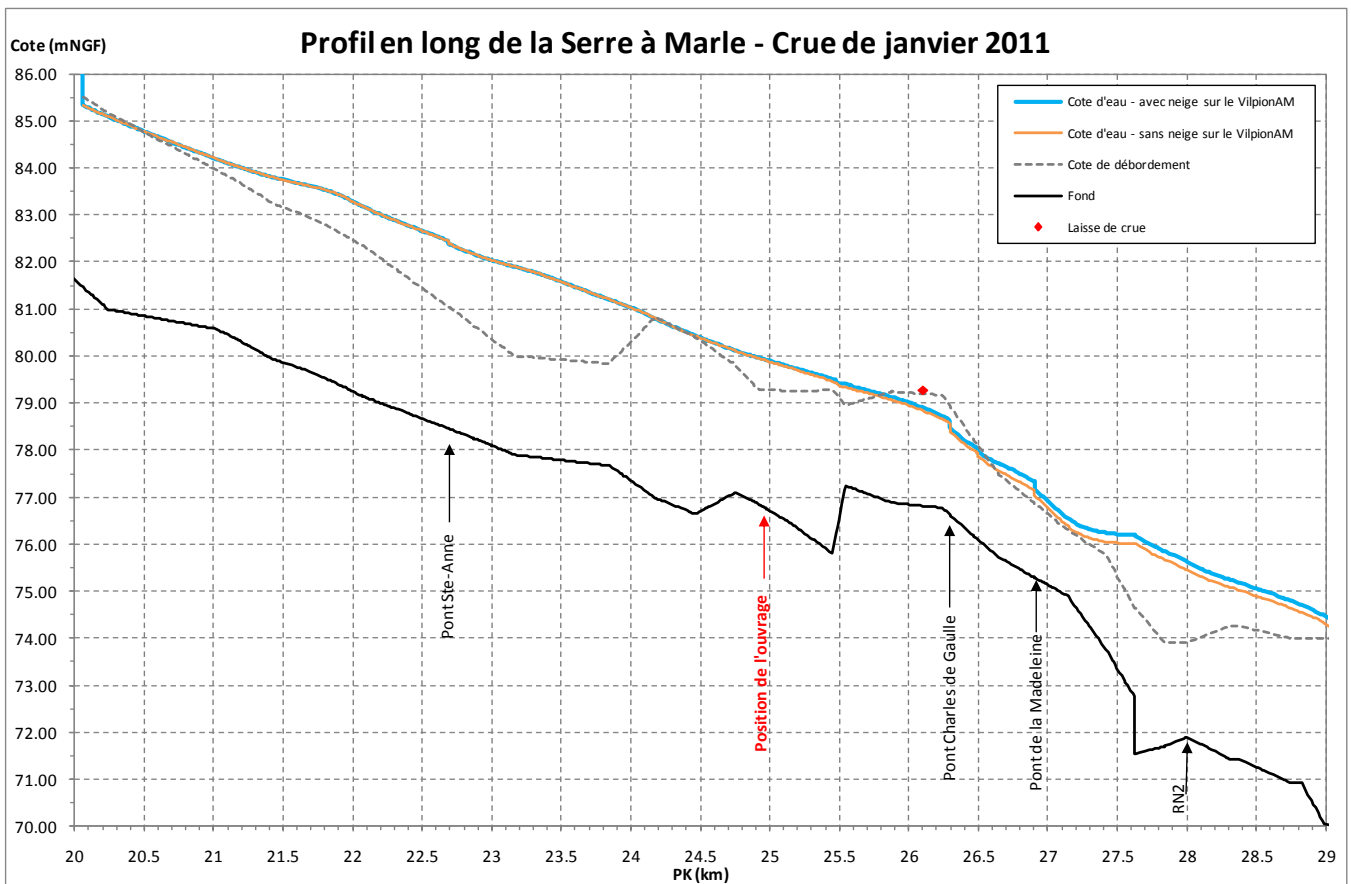
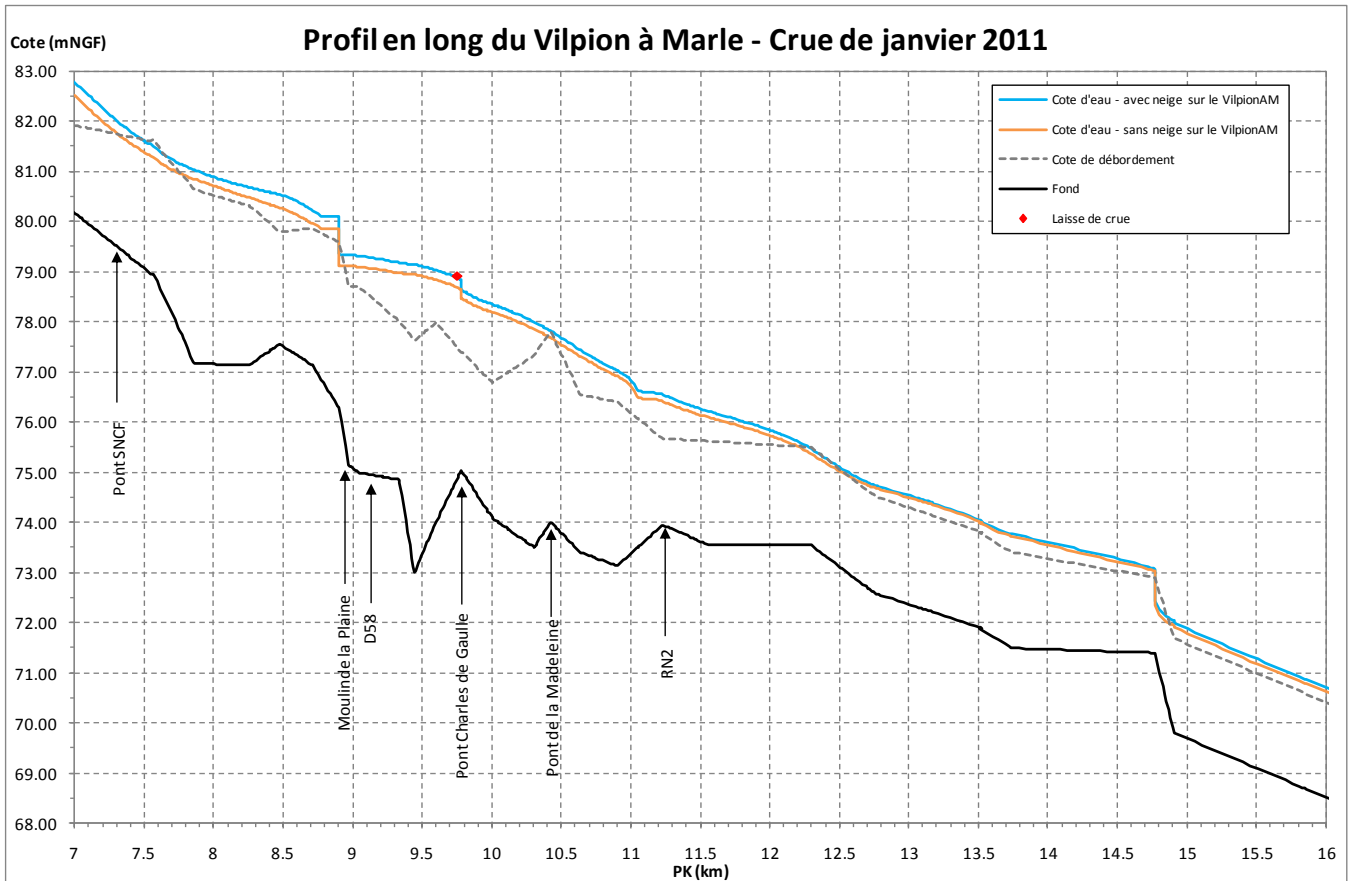


Figure 16 : Profil en long du Vilpion et de la Serre à Marle, en considérant ou non de la neige sur le VilpionAM

Ci-dessous, un extrait de la zone inondable calculée par le modèle hydraulique dans la traversée de Marle :

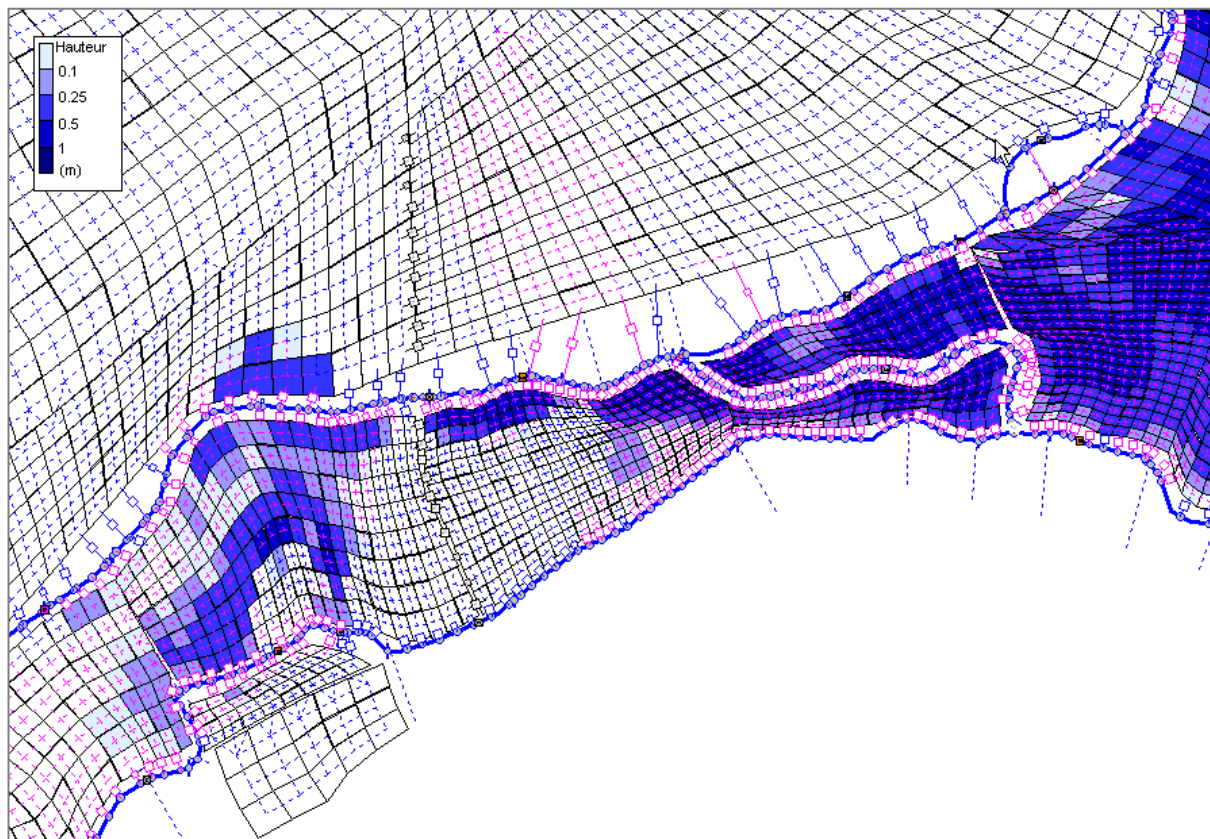


Figure 18 : Extrait de la zone inondable calculée par le modèle

Commentaires :

- Le modèle hydraulique tend à sous-estimer les niveaux calculés, en particulier sur la Serre, et donc à limiter l'emprise de la zone inondable d'eau observée lors de la crue de janvier 2011.

3.2.5 Analyse des débits du Vilpion et de la Serre

Le graphique ci-dessous superpose les hydrogrammes calculés par le modèle lors de la crue de janvier 2011, sur le Vilpion et la Serre en amont de la confluence, ainsi qu'au pont de la Madeleine, donc en aval de la confluence.

L'échelle des temps est en heures, le 0 correspondant au 04/01/2011 à 6h00.

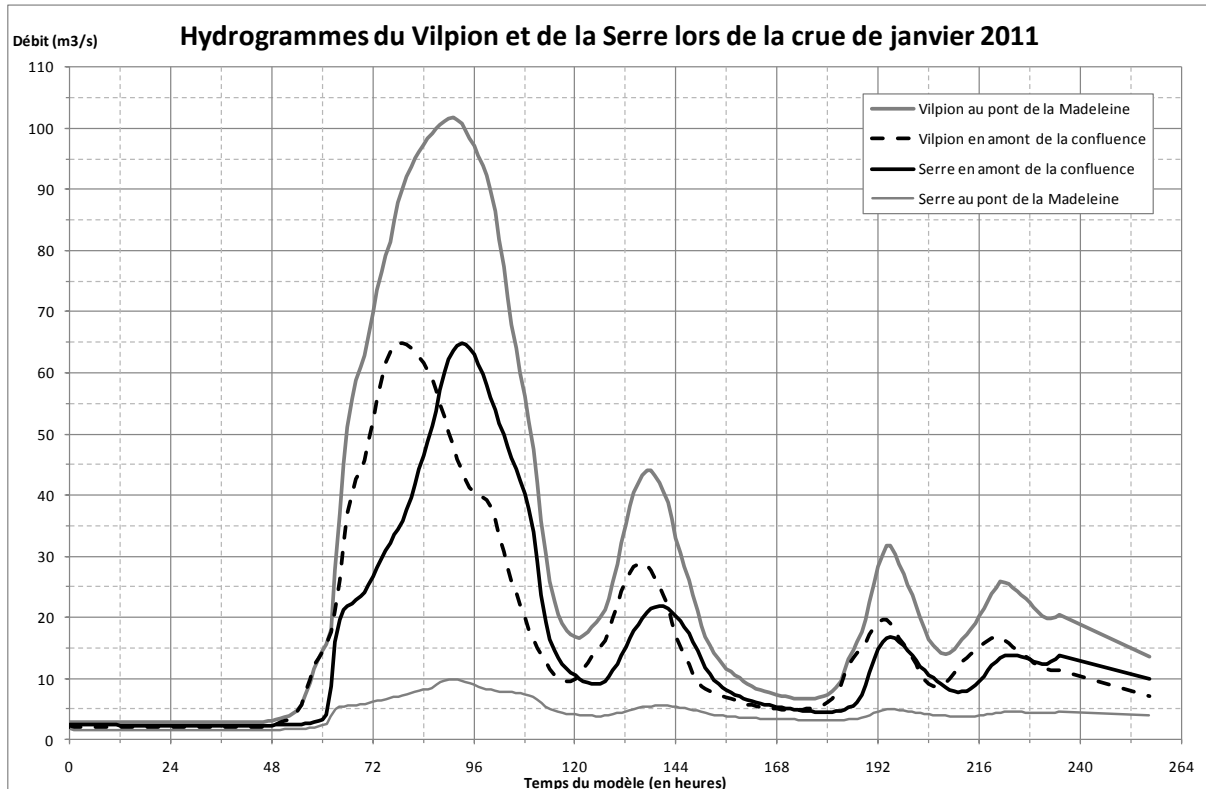


Figure 19 : Hydrogrammes du Vilpion et de la Serre calculés par le modèle hydraulique

Commentaires :

- Le Vilpion a atteint son maximum le 07/01/2011 au matin. Le modèle indique un débit maximal, juste en amont de Marle, d'environ 65 m³/s.
- La pointe de crue de la Serre est quant à elle arrivée une quinzaine d'heures après celle du Vilpion. Le modèle indique un débit maximal, juste en amont de Marle, d'environ 65 m³/s.
- Au pont de la Madeleine, le débit maximal du Vilpion est d'environ 100 m³/s et celui de la Serre de 10 m³/s.

3.3 ANALYSE DU FONCTIONNEMENT DE L'OUVRAGE DE MONTIGNY SOUS MARLE

3.3.1 Modélisation de l'ouvrage écreteur

L'ouvrage de retenue (digue + vannage sur la Serre) en amont de Marle sur la Serre a été modélisé :

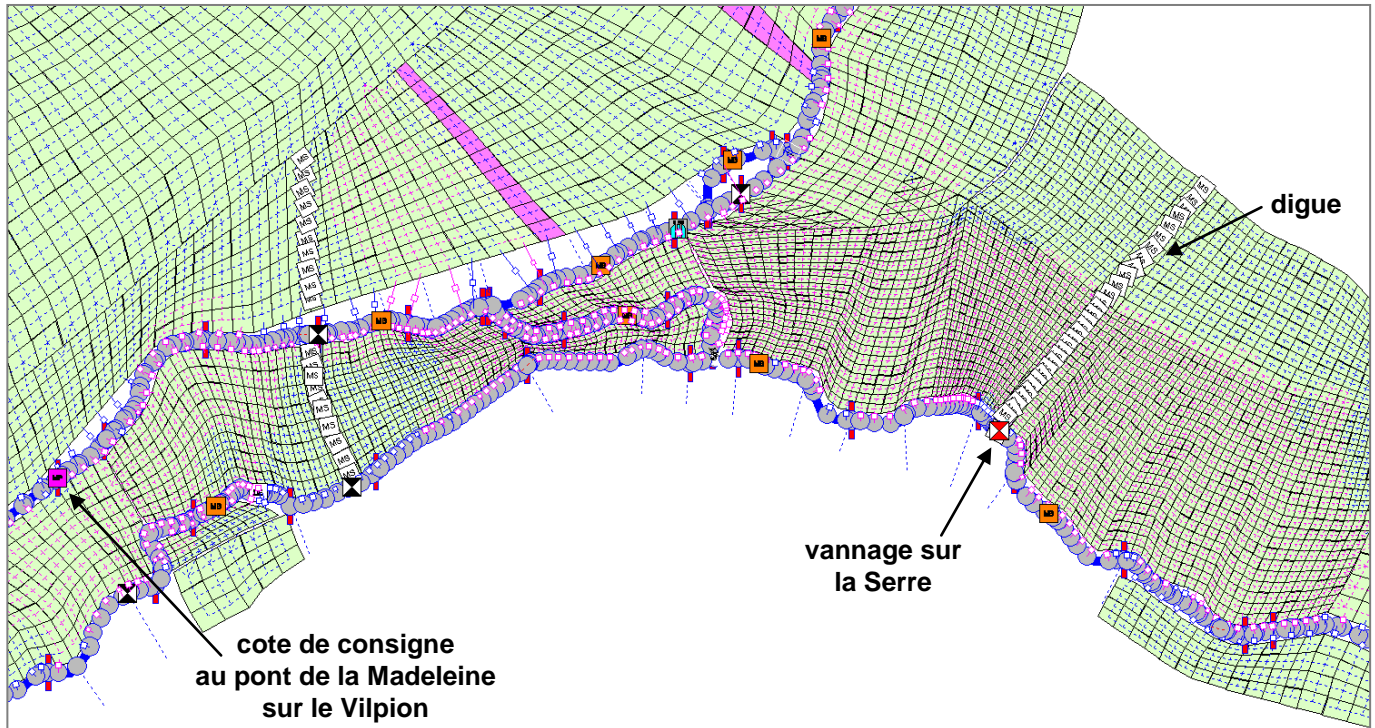


Figure 20 : Modélisation de l'ouvrage de Montigny-sous-Marle

La cote de consigne est au niveau du pont de la Madeleine.

La longueur de 80 m pour le déversoir calé à la cote de 83.1 m IGN69 avec une cote de consigne à 77,70 m IGN69 au niveau du pont de la Madeleine est donc la plus adaptée au projet.

3.3.2 Comparaison du limnigramme au pont de la Madeleine et de la cote de consigne

Le limnigramme calculé par le modèle au pont de la Madeleine indique le niveau du Vilpion a dépassé la cote de consigne de l'ouvrage de Montigny d'une dizaine de centimètres :

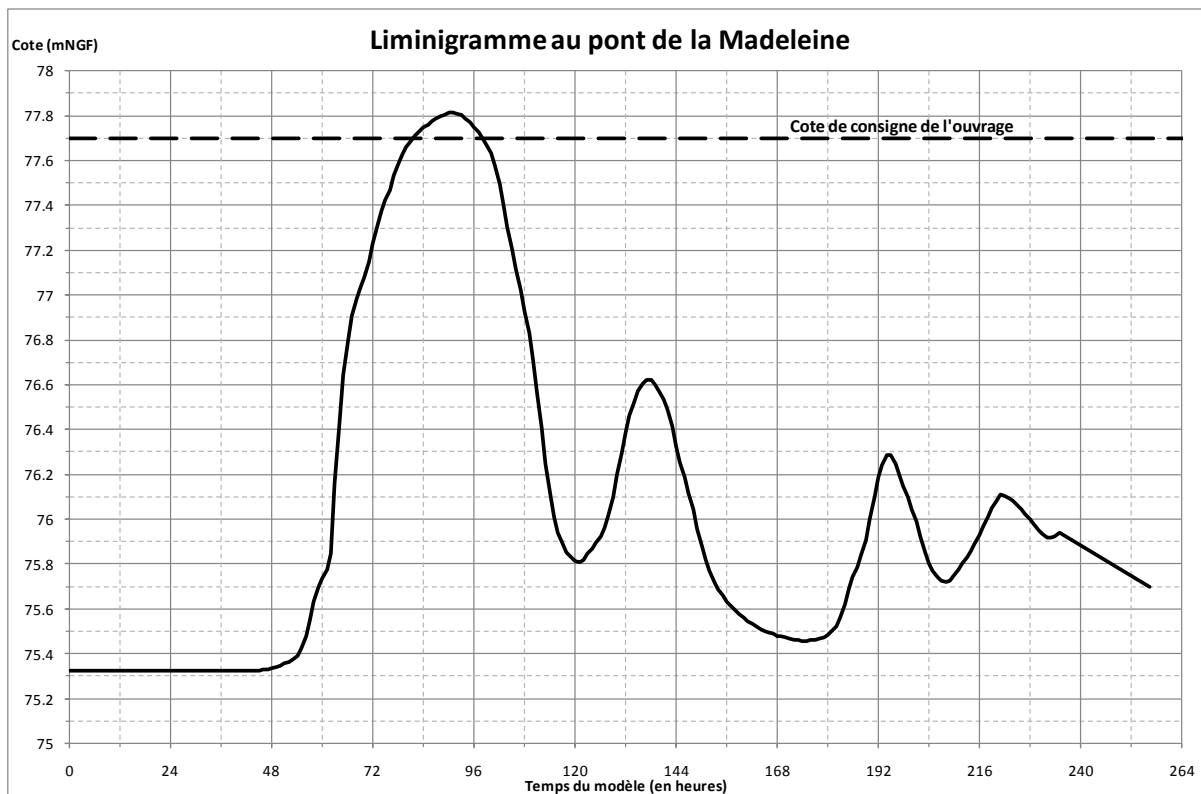


Figure 21 : Limnigramme du Vilpion au pont de la Madeleine

Ainsi, l'ouvrage de Montigny-sous-Marle aurait légèrement fonctionné.

Toutefois, le calage en cotes dans le secteur étant approximatif, le modèle hydraulique permet juste de dire que le niveau maximal du Vilpion au pont de la Madeleine observé au cours de la crue de janvier 2011 s'est trouvé aux alentours de la cote de consigne de l'ouvrage projeté.

3.3.3 Incidence sur le profil en long des lignes d'eau

On représente pour la crue de janvier 2011 le profil en long de la ligne d'eau sur le Vilpion et la Serre dans Marle calculée par :

- Le modèle de référence,
- Le modèle intégrant le projet d'ouvrage de Montigny-sous-Marle.

Commentaires :

- Le fonctionnement de l'ouvrage écrêteur de Montigny-sous-Marle, sur la Serre, permet de réduire le niveau du Vilpion dans la traversée de Marle de 5 à 10 cm. Plus en aval, l'abaissement n'est plus de quelques centimètres.
- A contrario, le fonctionnement de l'ouvrage de Montigny engendre une surélévation de la ligne d'eau de la Serre en amont. Cette surélévation est maximale au droit de l'ouvrage et atteint 90 cm.
- En aval de l'ouvrage, le niveau de la Serre dans la traversée de Marle est abaissé de 5 cm environ.

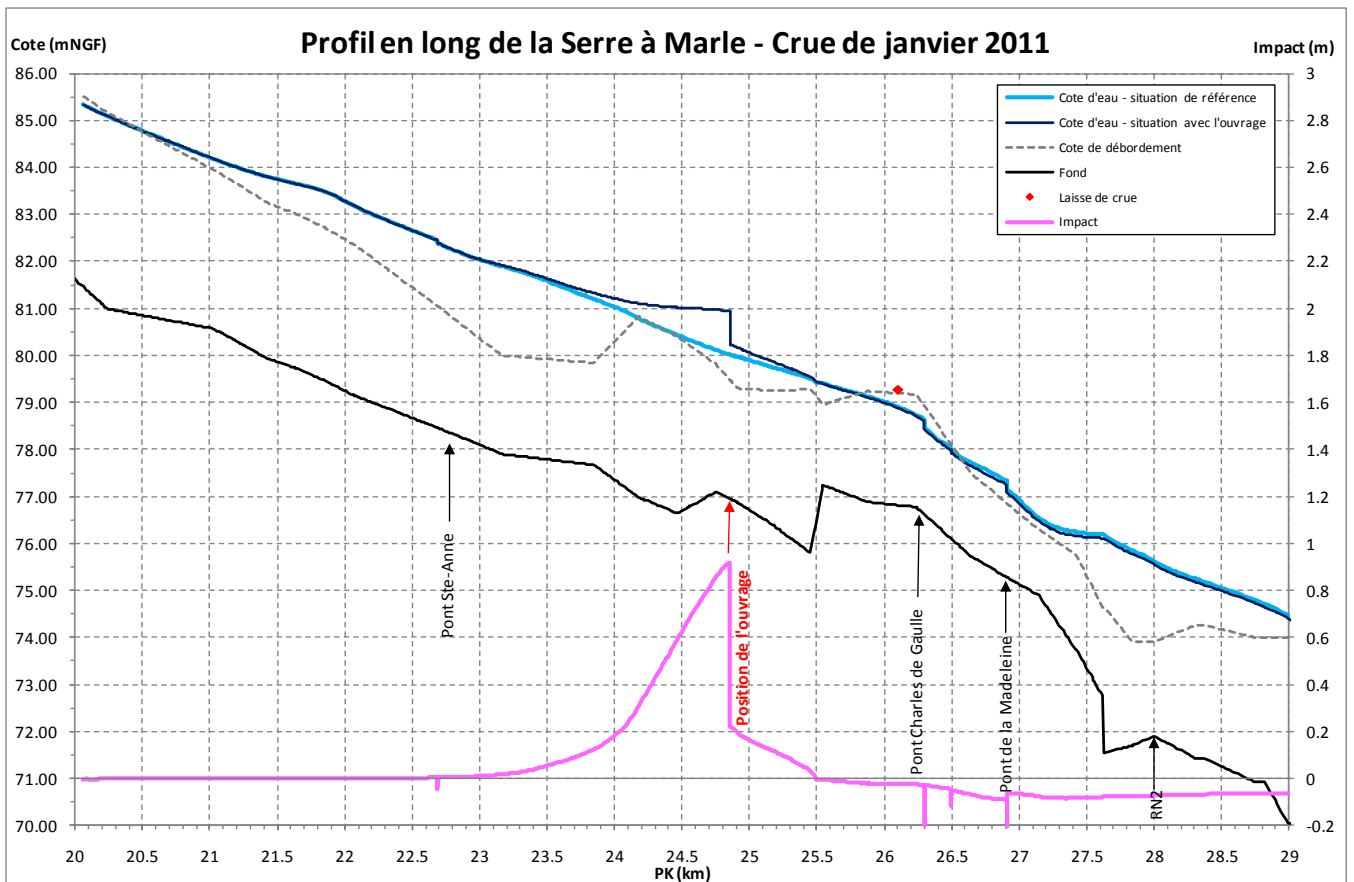
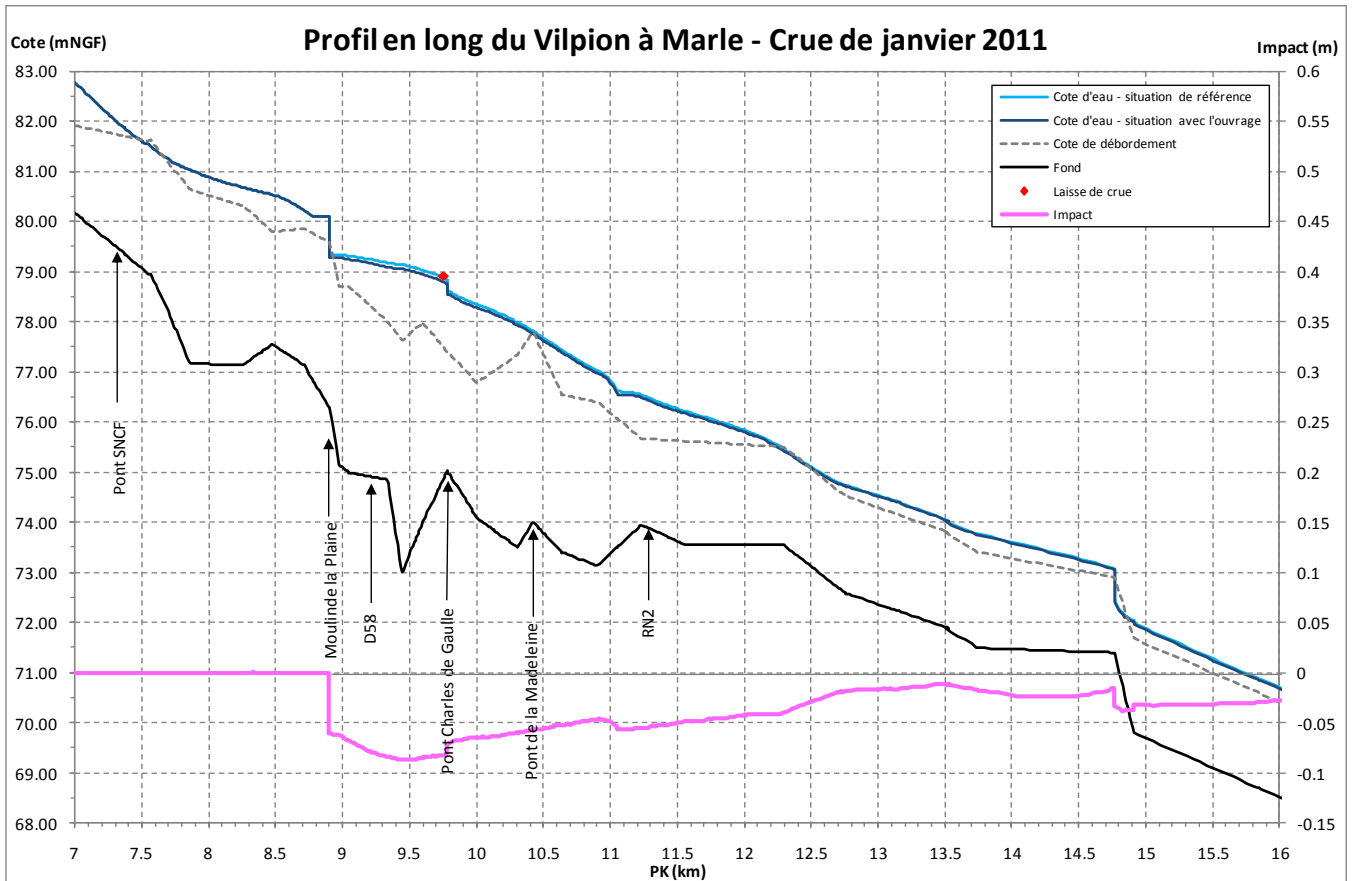


Figure 22 : Profil en long du Vilpion et de la Serre à Marle, avec et sans l'ouvrage de Montigny

3.3.4 Ecrêtement

L'ouvrage de Montigny-sous-Marle sur la Serre, dont la cote de consigne est de 77.70 m NGF au pont de la Madeleine, permet d'écrêter de presque 10 m³/s le débit maximum de la Serre au moment le plus opportun grâce à la télégestion de l'ouvrage à partir du point de consigne à la Madeleine. On peut noter que dès la pointe de crue de la Serre passée, l'ouvrage relâche plus de débit ce qui permet de ne pas stocké de l'eau inutilement.

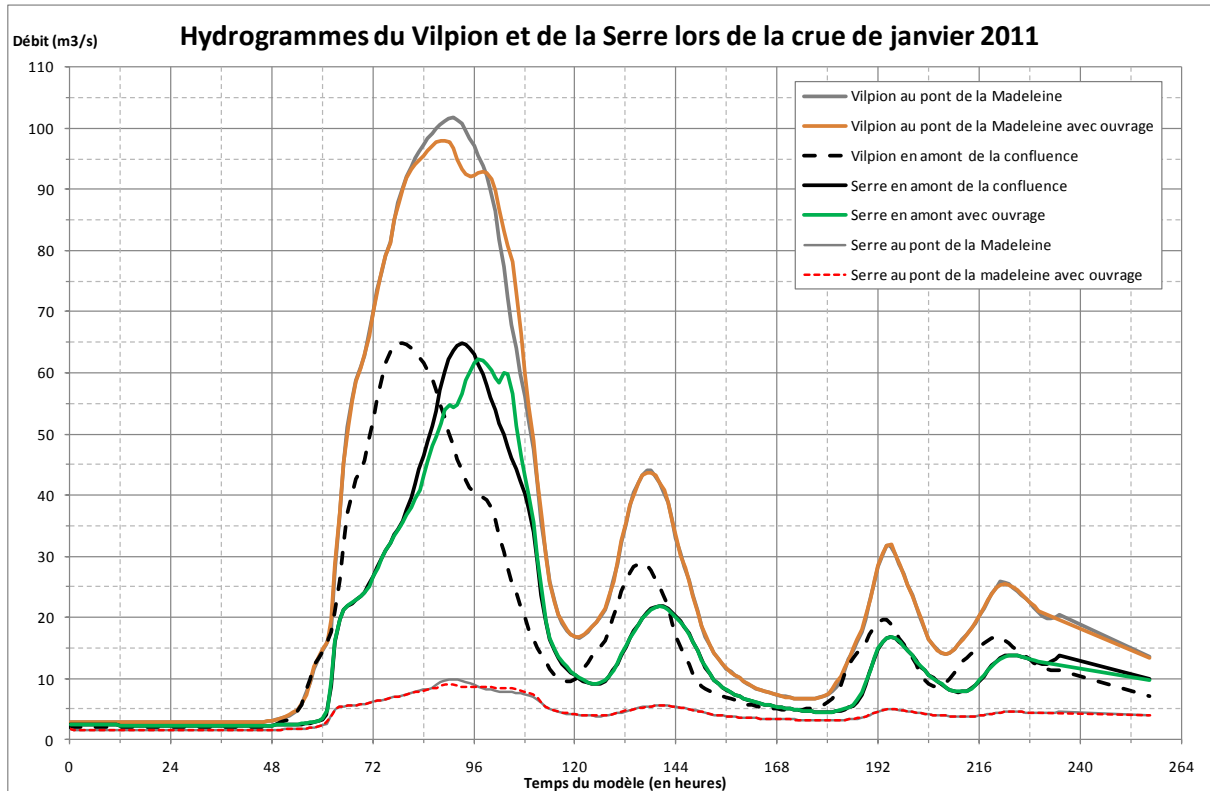


Figure 23 : Ecrêtement sur le Vilpion et la Serre apporté par l'ouvrage de Montigny-sous-Marle

3.4 ANALYSE DU FONCTIONNEMENT DE L'OUVRAGE DE MONTIGNY SOUS MARLE AVEC UNE CONSIGNE A 77.60 m NGF

Un test supplémentaire est effectué afin d'évaluer l'incidence de l'ouvrage de Montigny-sous-Marle si l'on abaisse la cote de consigne à la Madeleine de 77.70 à 77.60 m NGF.

3.4.1 Incidence sur le profil en long des lignes d'eau

On représente pour la crue de janvier 2011 le profil en long de la ligne d'eau sur le Vilpion et la Serre dans Marle calculée par :

- Le modèle de référence,
- Le modèle intégrant le projet d'ouvrage de Montigny-sous-Marle avec une consigne à la Madeleine de 77.70 m NGF,
- Le modèle intégrant le projet d'ouvrage de Montigny-sous-Marle avec une consigne à la Madeleine de 77.60 m NGF.

Commentaires :

- Le fonctionnement de l'ouvrage écrêteur de Montigny-sous-Marle sur la Serre, avec une consigne à la Madeleine sur le Vilpion de 77.70 m NGF, permet de réduire le niveau du Vilpion dans la traversée de Marle de 5 à 10 cm. Plus en aval, l'abaissement n'est plus de quelques centimètres.
- Avec une consigne à 77.60 m NGF, l'abaissement peut atteindre 20 cm sur le Vilpion.

- Le fonctionnement de l'ouvrage de Montigny engendre une surélévation de la ligne d'eau de la Serre en amont. Cette surélévation est maximale au droit de l'ouvrage et atteint 90 cm pour une cote de consigne à 77.70 m NGF et 1.80m pour une cote de consigne à 77.60 m NGF.

- En aval de l'ouvrage, le niveau de la Serre dans la traversée de Marle est abaissé de 5 à 10cm environ.

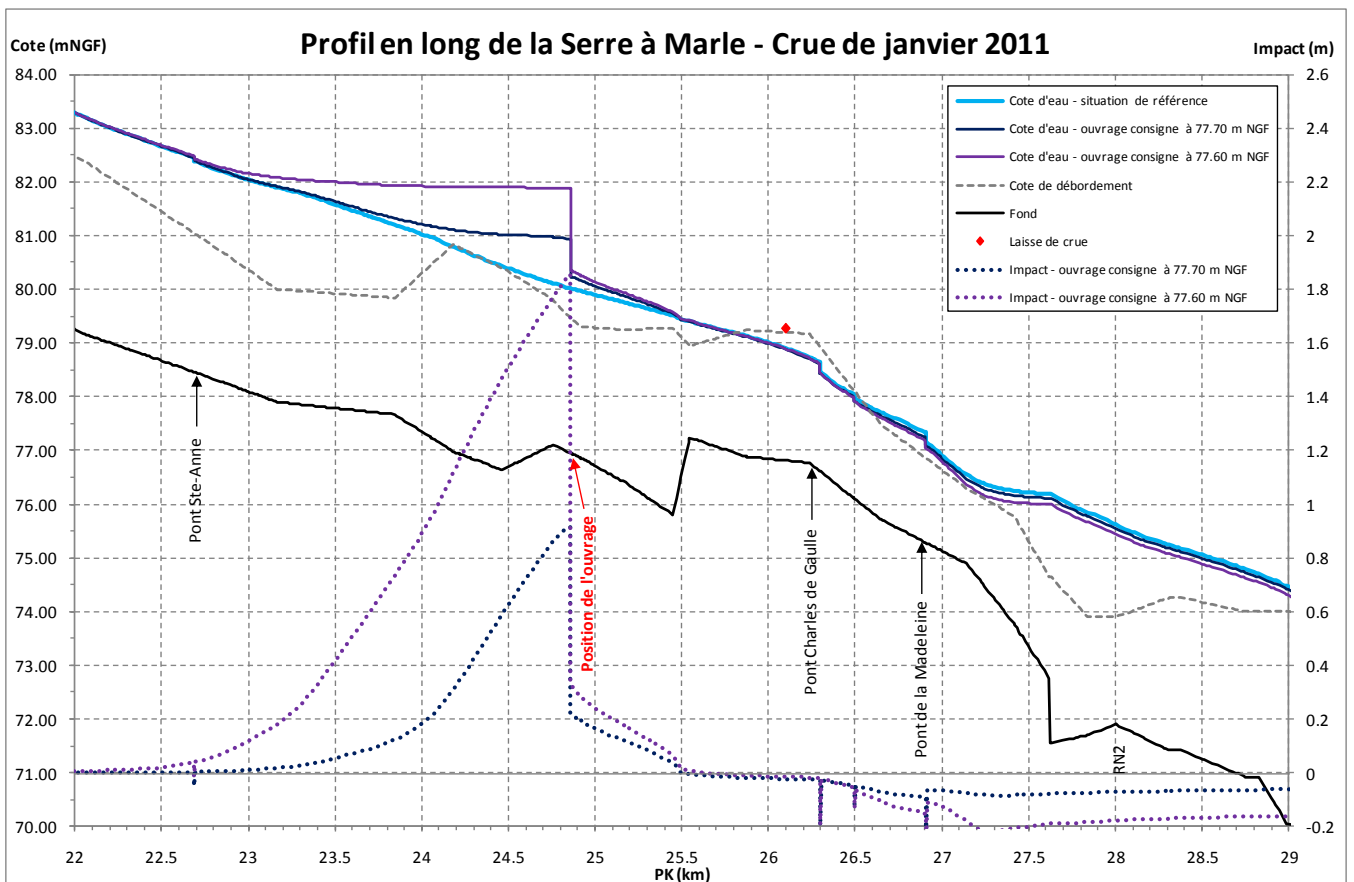
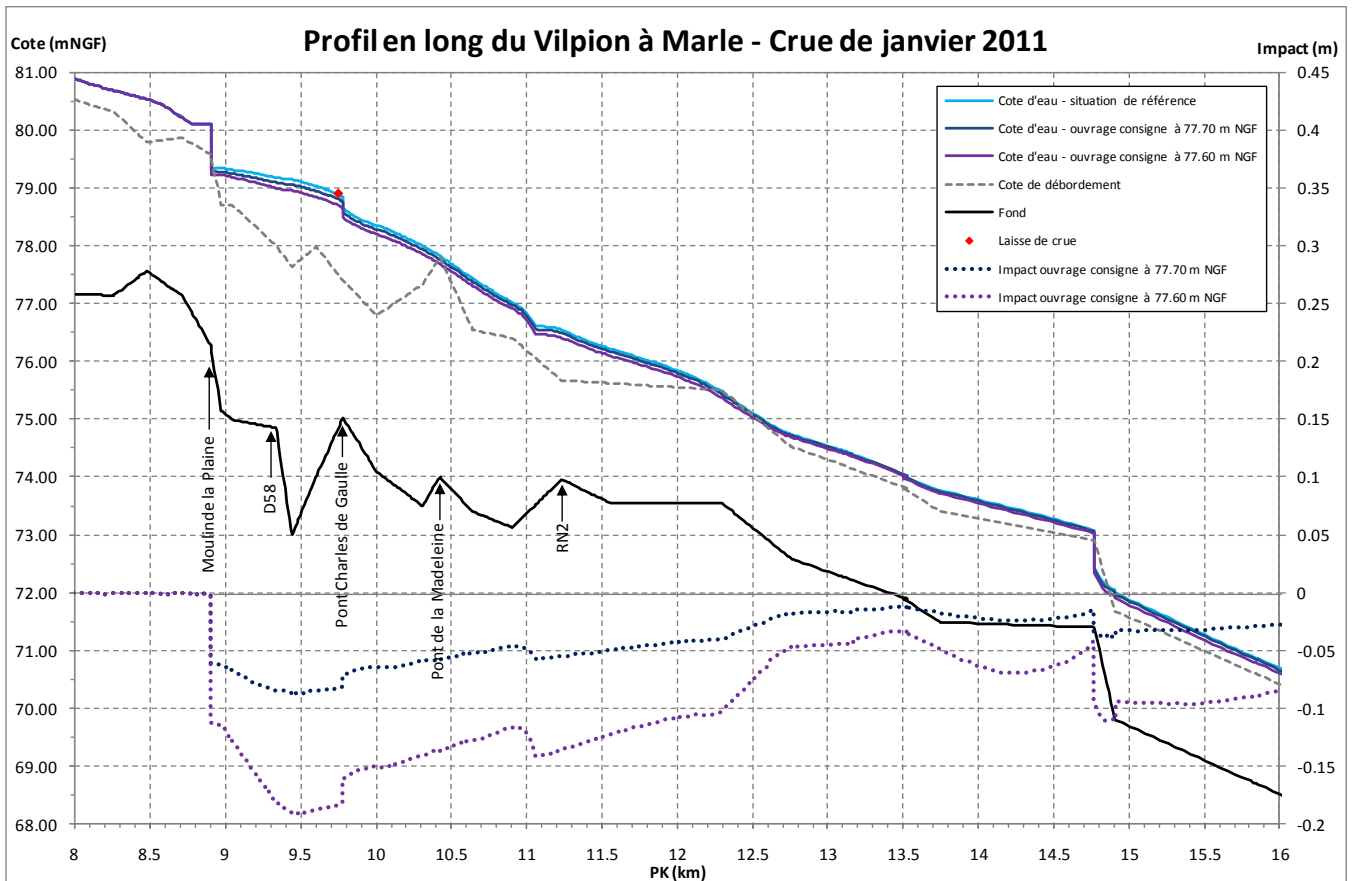


Figure 24 : Profil en long du Vilpion et de la Serre à Marle, pour différentes cotes de consigne de l'ouvrage de Montigny

3.4.2 Incidence sur le remplissage de l'ouvrage et le volume stocké

Le tableau ci-dessous indique le niveau de remplissage de l'ouvrage et la correspondance en volume, pour les deux cotes de consignes considérées :

Cote de consigne	Cote en amont de la retenue	Volume maximum stocké
77.70 m NGF	80.95 m NGF	300 000 m ³
77.60 m NGF	81.90 m NGF	900 000 m ³

Tableau 13 : Cotes en amont de la retenue et volumes stockés

Ainsi, le fait d'abaisser de 10 cm la cote de consigne de l'ouvrage de Montigny multiplie par 3 le volume stocké en amont de la retenue.

Le graphique ci-après représente la correspondance entre le niveau en amont de la retenue et le volume stocké :

Projet d'aménagement d'une aire d'écrêtement des crues de la Serre à Montigny-sous-Marle
Courbe hauteur-volume

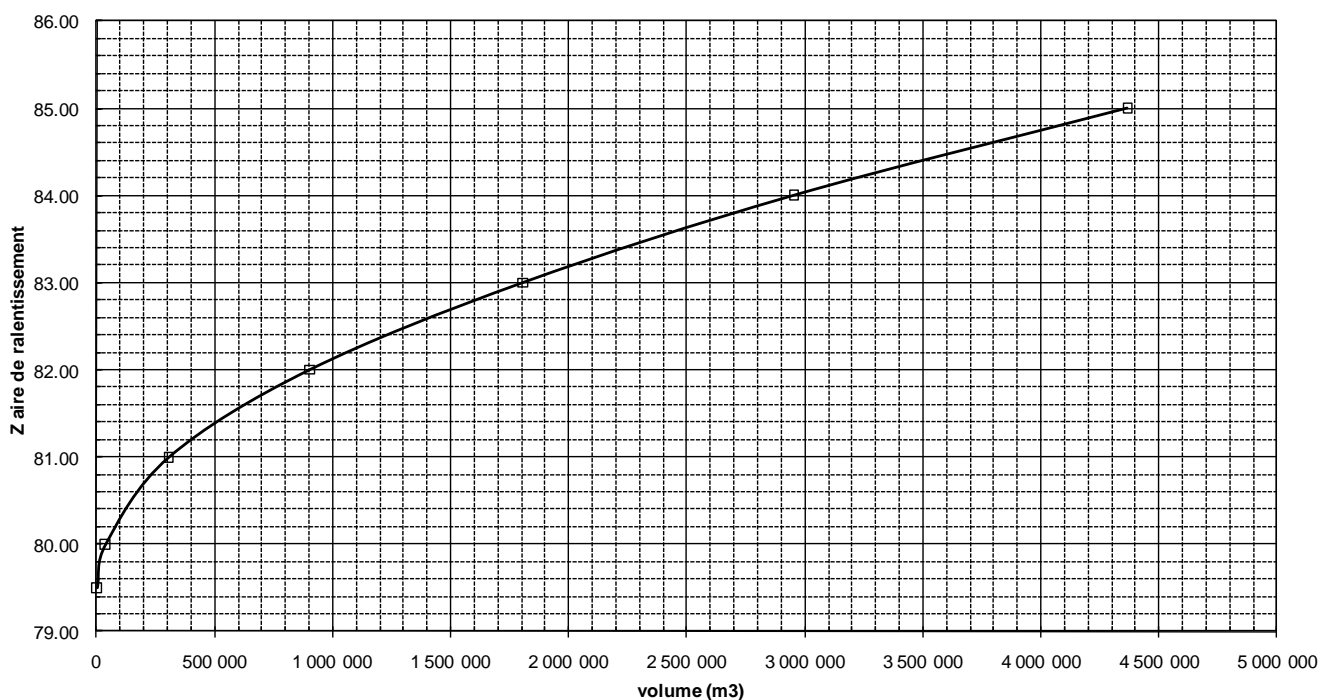


Figure 25 : Courbe hauteur-volume de la retenue de Montigny-sous-Marle

3.4.3 Incidence sur l'écrêtement

L'ouvrage de Montigny-sous-Marle sur la Serre, dont la cote de consigne est de 77.60 m NGF au pont de la Madeleine, permet d'écrêter de presque 18 m³/s le débit maximum de la Serre au moment le plus opportun grâce à la télégestion de l'ouvrage à partir du point de consigne à la Madeleine.

On peut noter que dès la pointe de crue de la Serre passée, l'ouvrage relâche plus de débit ce qui permet de ne pas stocker de l'eau inutilement.

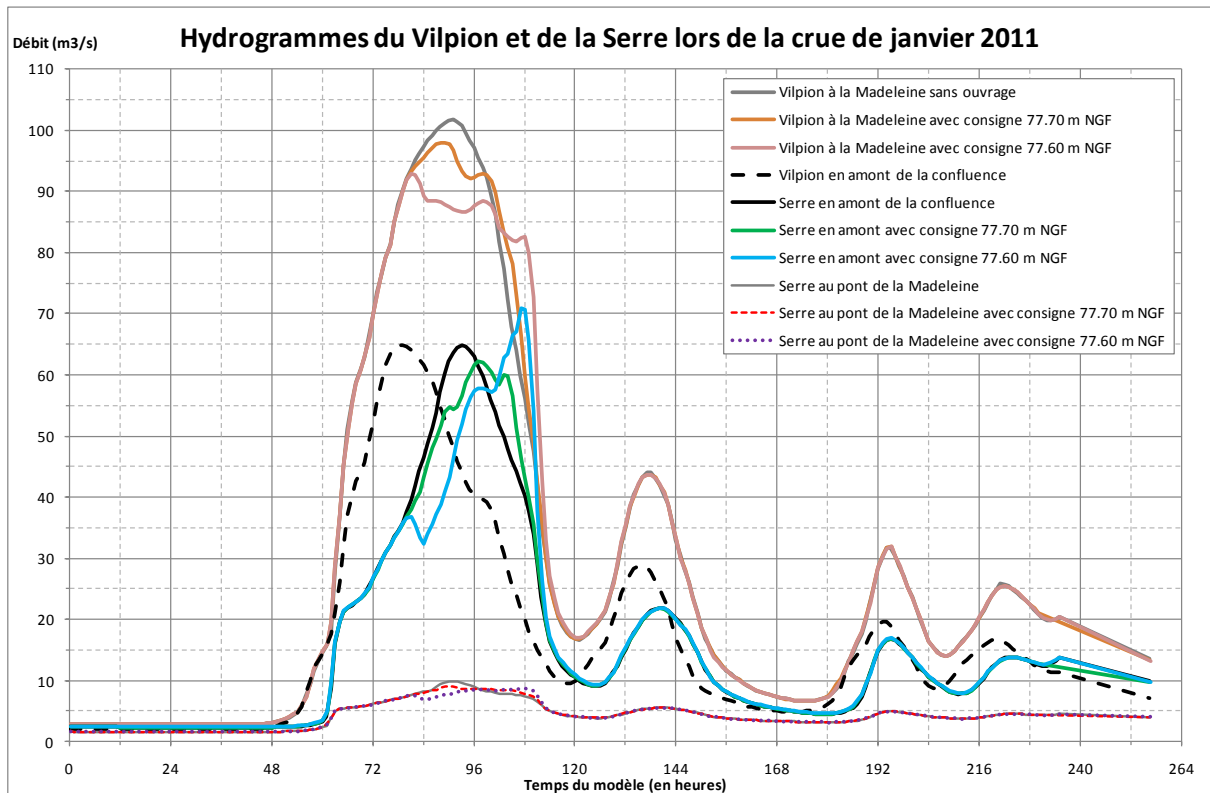


Figure 26 : Ecrêtement sur le Vilpion et la Serre apporté par l'ouvrage de Montigny-sous-Marle avec une consigne abaissée à 77.60 m NGF

ANNEXE

SCSN - PQ :

**Un modèle global de production Pluie-Débit sur sols
imperméables avec prise en compte de la Neige**

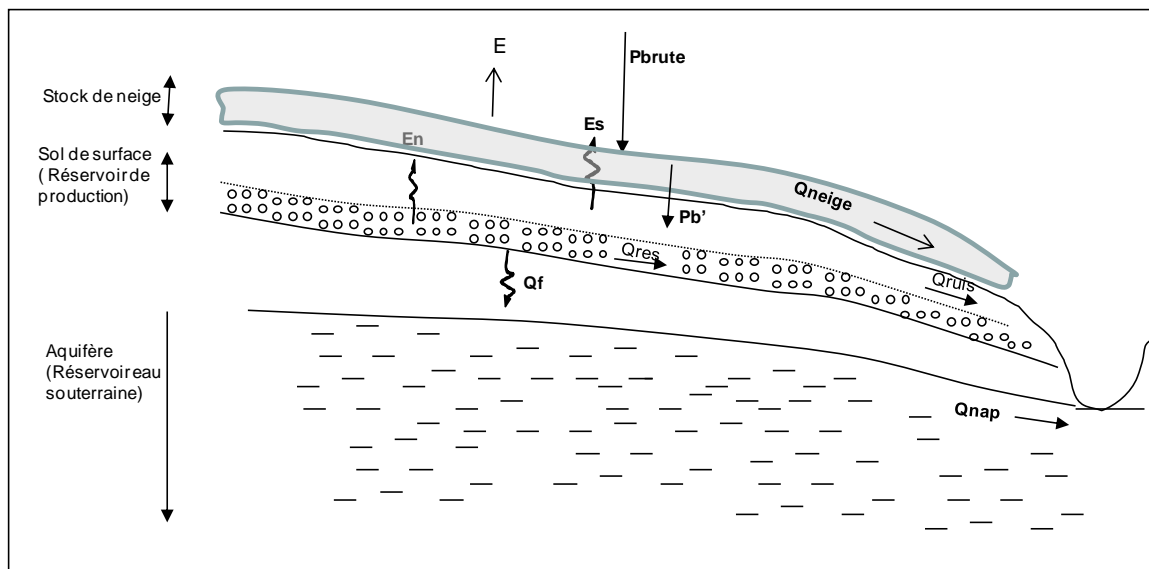
Motivations et objectifs visés

Le module de production SCSN_PQ est une adaptation du module SCS_PQ avec prise en compte du facteur neige dans la production du ruissellement.

Le modèle « Neige » mis en œuvre ici convient pour les bassins hydrographiques de plaines alluviales. Il a été calé pour ce type de bassins et devrait probablement être enrichi pour les bassins versants de zones montagneuses pour prendre en compte certains mécanismes négligés dans la présente formulation.

Schématisation

❖ Physique des écoulements



Une coupe type verticale perpendiculaire à l'axe de la vallée fait ressortir trois couches :

- une couche de neige,
- une couche superficielle de sol, de quelques dizaines de centimètres, qui est le siège d'échanges importants avec la lame d'eau pluviométrique,
- la nappe, alimentée par les percolations à travers la couche de sol intermédiaire, qui écoule un débit Q_{nap} vers le cours d'eau.

La compréhension globale du fonctionnement de ce système s'apprécie au travers de l'analyse des processus au sein de chaque sous système :

La couche de neige

le stock de neige est alimenté à la surface du sol par les précipitations P_{brute} sous forme neigeuse. Le stock de neige évolue selon trois mécanismes :

- alimentation par les précipitations sous forme neigeuse,
- perte par évaporation,
- perte par ruissellement par effet d'entraînement d'une précipitation sous forme pluvieuse.

Sol superficiel.

Le sol superficiel est constitué de deux couches superposées :

- La RFU, occupée par la végétation et qui est le siège d'échanges importants de la pluie brute avec l'atmosphère via le mécanisme d'évapo-transpiration,
- La couche de sol intermédiaire, caractérisée par une capacité maximum de stockage de l'humidité, représentée par une hauteur moyenne J_0 . En période sèche le taux d'humidité du sol, défini par une hauteur $J(t)$, décroît progressivement du fait des pertes par infiltration vers la nappe et d'un ressuyage lent vers la rivière dans le cas d'une nappe perchée.

Lors d'une précipitation, caractérisée par une lame d'eau moyenne brute P excédant la capacité d'ETP, de l'eau pénètre dans le sol. Tant que la RFU n'est pas saturée le réservoir de sol n'est pas alimenté. Dans le cas contraire une fraction va augmenter le taux d'humidité du sol, une autre fraction va s'écouler en surface et/ou en subsurface vers le point bas du bassin versant, le coefficient de ruissellement étant fonction du taux d'humidité du sol. La dernière fraction enfin s'infiltrate verticalement pour rejoindre les couches profondes du sol.

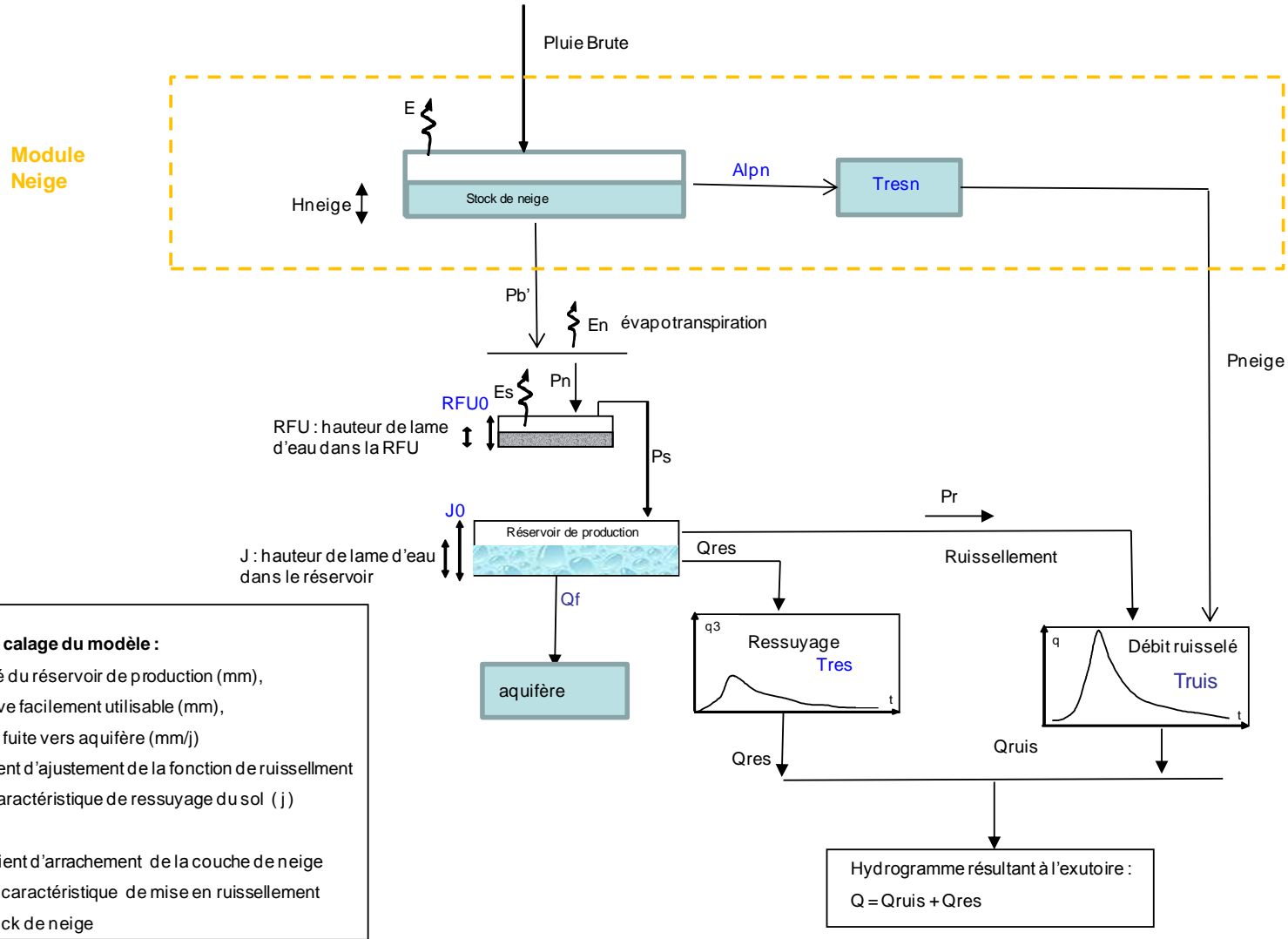
L'aquifère

Dans le modèle considéré on considère que la nappe délivre un débit de base constant, On néglige autrement dit les fluctuations de débit induit par le battement de la nappe pour le type de sol considéré.

❖ **Schéma conceptuel**

La représentation physique ci-dessus est traduite par le schéma conceptuel de la page suivante :

Schéma conceptuel du modèle de production SCSN-PQ



Paramètres de calage du modèle :

- J0 : capacité du réservoir de production (mm),
- RFU0 : Réserve facilement utilisable (mm),
- Qf : débit de fuite vers aquifère (mm/j)
- beta : coefficient d'ajustement de la fonction de ruissellement
- Tres : temps caractéristique de ressuyage du sol (j)

Alpn : coefficient d'arrachement de la couche de neige

Tresn : temps caractéristique de mise en ruissellement du stock de neige

Description du modèle

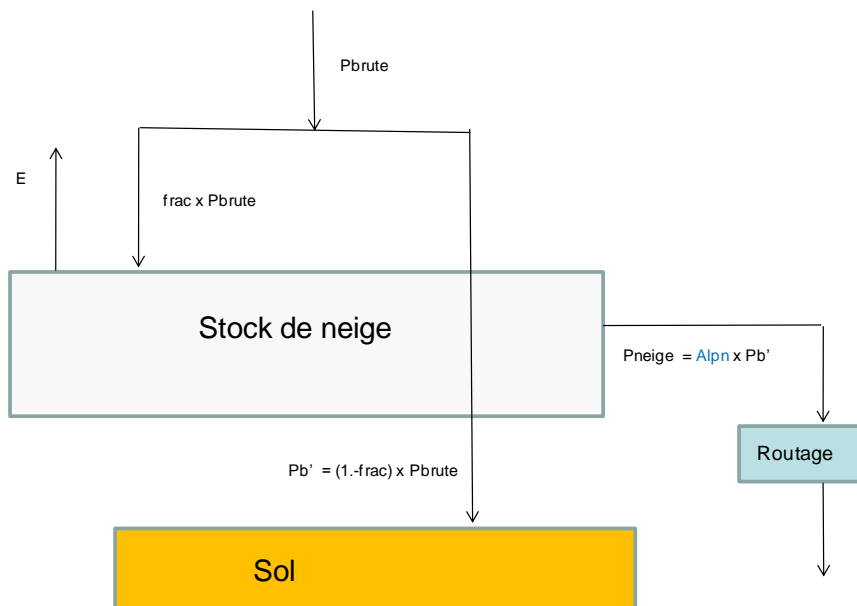
❖ bilan dans la couche de Neige

La pluie brute

La pluie brute est définie dans le fichier .hye. Elle se compose de deux parties :

- La fraction «frac » tombant sous forme neigeuse.
- La fraction « 1- frac» tombant sous forme pluvieuse,

Le bilan dans la couche de neige est régi par les équations suivantes :



La variation du stock de neige est régie par l'équation suivante :

$$\frac{u_s}{\Delta t} = \text{frac} \times P_{\text{brute}} - E - P_{\text{neige}}$$

$$E = \left(\frac{L_c}{L_f}\right) \times X_4 \times ETP$$

$X_4 = 0.3$: perte par évaporation

$L_c = 2500$ kj/kg

$L_f = 334$ kj/kg

$$P_{\text{neige}} = Al_{pn} \times (1-\text{Frac}) \times P_{\text{brute}}$$

Al_{pn} : coefficient d'arrachement, défini par l'utilisateur.

Un module de routage à été introduit pour permettre de différer le départ en ruissellement du stock de neige arraché par la pluie. Ce retard est réglé par me paramètre [Tresn..](#)

❖ Bilan hydrique dans le réservoir de sol

Réservoir 1 : la RFU

La hauteur d'eau dans la RFU est régie par l'équation :

$$\frac{dh}{dt} = P_n - E_s - P_s$$

$P_n = \max(0, P_b - ETP)$

E_s : perte par évapotranspiration résiduelle dans le sol :

$$E_s = r \times (2-r) \times (ETP - P_b) \quad \text{avec } r = RFU / RFU0$$

P_s : intensité de la pluie pénétrant dans le sol, vers la couche de sol intermédiaire. $P_s = 0$ tant que la RFU n'est pas saturée.

Réservoir 2 : couche de sol intermédiaire

Méthode SCS originelle

La méthode SCS est régie par l'équation suivante

$$Pr_{cum}(t) = \frac{(P_{scum}(t) - 0.2 \times J_0)^2}{P_{scum}(t) + 0.8 \times J_0} \quad (1)$$

Avec :

$P_{scum}(t)$: hauteur accumulée de la lame d'eau qui a pénétré dans la couche superficielle du sol à l'instant t ,

J_0 : Hauteur d'interception potentielle en mm,

$P_{rcum}(t)$: Hauteur cumulée de la lame d'eau ruisselée entre les instants 0 et t .

L'équation (1) a été calée sur un nombre important d'épisodes pluvieux et de bassins hydrographiques, d'où son intérêt. Le paramètre J_0 doit être calé au cas par cas, ou à défaut déduit de tables établies pour diverses natures de sols.

Le calcul de l'intensité nette ruisselée s'obtient par dérivation de l'équation (1) :

$$Pr = \frac{(P_{scum} - 0.2J) * (P_{scum} + 1.8J)}{(P_{scum} + 0.8J)^2} P_s \quad (2)$$

On considère ici qu'il n'y a pas de ruissellement immédiat : lorsque $P_{scum}(t) < 0.2J_0$, on choisit $Pr = 0$.

Le coefficient de ruissellement instantané est égal à :

$$c = \frac{Pr}{Ps} = \frac{(Pscum - 0.2J_0) * (Pscum + 1.8J_0)}{(Pscum + 0.8J_0)^2} \quad (3)$$

C est égal à zéro lorsque $Pscum < 0.2J_0$. Il croit ensuite avec $Pscum$ et atteint la valeur 0.7 lorsque $Pscum=J_0$.

Adaptation de la méthode SCS

La formulation ci-dessus convient si l'on s'intéresse à un événement isolé, se produisant pour des conditions de sols initialement à sec. Elle doit être adaptée dans le cas d'une simulation de longue durée, dans laquelle on souhaite modéliser le ressuyage des sols entre deux événements pluvieux. Il est alors intéressant d'introduire le paramètre $J(t)$ qui représente la hauteur d'eau présente dans le sol à l'instant t . On cherche alors à approximer l'équation (3) en exprimant C par rapport à J plutôt qu'à $Pscum$:

J par définition est égal à : $J = Pscum(t) - Prcum(t)$ (4).

En combinant les équations (1) et (4) on obtient la relation suivante :

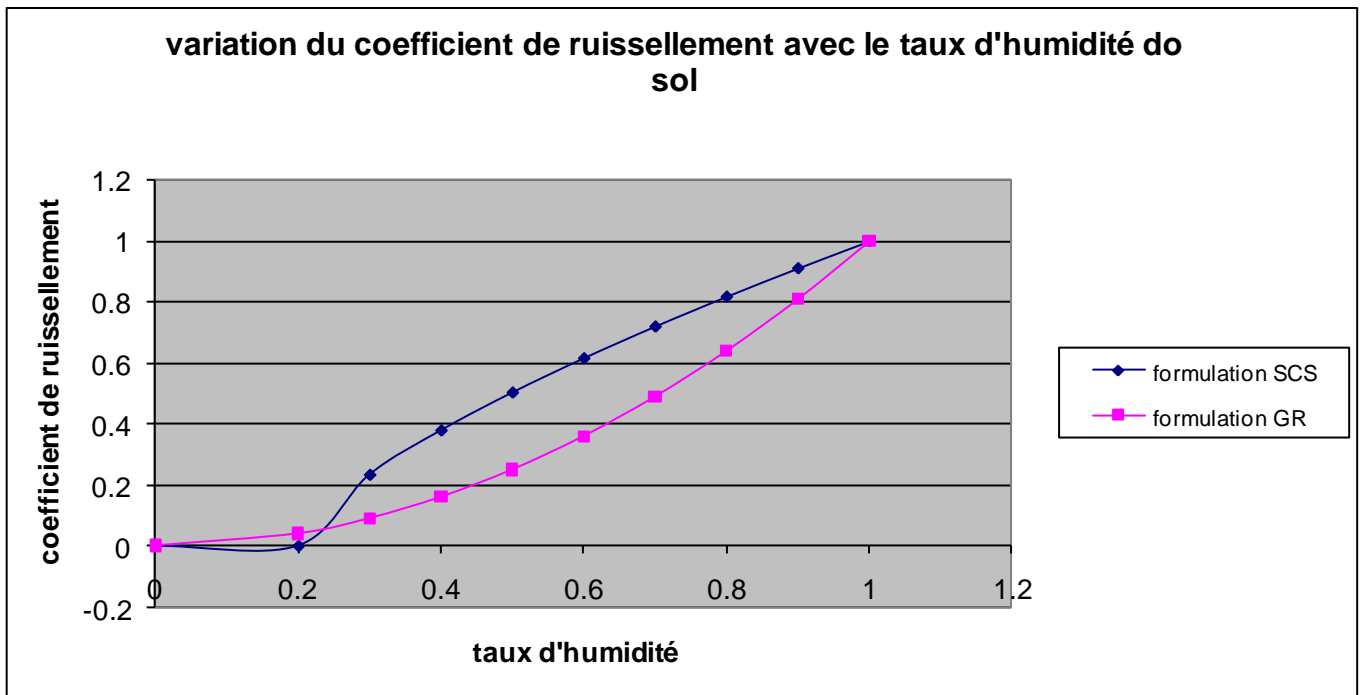
$$X = \frac{1.2Y - 0.04}{Y + 0.8} \quad \text{Avec : } X = \frac{J}{J_0} \quad \text{et : } Y = \frac{Pbcum}{J_0} \quad (5)$$

L'expression (5) permet d'exprimer l'équation (3) en fonction de X plutôt que Y . l'ajustement d'une fonction analytique simple conduit à proposer l'équation suivante reliant C et $J(t)$:

$$C = 1.17 \times \left(\frac{J}{J_0} - 0.2 \right)^{0.7} \quad (6)$$

L'équation (6) est cohérente avec l'équation (1), elle présente le gros avantage de relier C avec l'état d'humidité du sol au temps t et donc de généraliser la formulation SCS à la simulation de séries temporelles continues. On constate que C est égal à 1 de 1 lorsque $J=J_0$.

La courbe de variation de C en fonction de J/J₀ a l'allure suivante :



La courbe SCS est comparée ci dessus à la courbe d'évolution proposée dans la formulation GR : elle est beaucoup plus réactive pour un coefficient J/J₀ donné : pour obtenir des résultats équivalents il faut donc sélectionner des valeurs de J₀ différentes pour les deux modèles.

La hauteur J(t) est réactualisée à chaque pas de temps comme suit :

$$\frac{dJ}{dt} = P_s - P_r - Q_{res} - Q_f$$

Avec :

$$Q_{res} : \text{débit de ressuyage, } Q_{ress} = \frac{J(t)}{T_{res}}$$

T_{res} : temps de tarissement du sols (caractéristique de chaque bassin versant), ce paramètre traduit le fait qu'une partie de l'eau stockée dans le réservoir 2 en fin d'épisode pluvieux rejoint le cours d'eau par cheminements internes dans le sol, l'autre partie s'infiltré dans les couches profondes par perte par infiltration.

P_r : lame d'eau ruisselée

Q_f : perte par infiltration dans la nappe (ici constante fixée pour chaque bassin versant par calage),

P_s : lame d'eau pénétrant dans le réservoir 2 entre les temps t-dt et t,

P_r : lame d'eau ruisselée : $P_r = C \times P_s$, où C est donnée par l'expression (6).

❖ **Transformation lame d'eau ruisselée – Débit**

Ruissellement rapide

La transformation retenue est celle de l'hydrogramme unitaire. Cette méthode consiste à transformer chaque élément de ruissellement potentiel en un hydrogramme élémentaire et à sommer les différents hydrogrammes pour obtenir l'hydrogramme de crue.

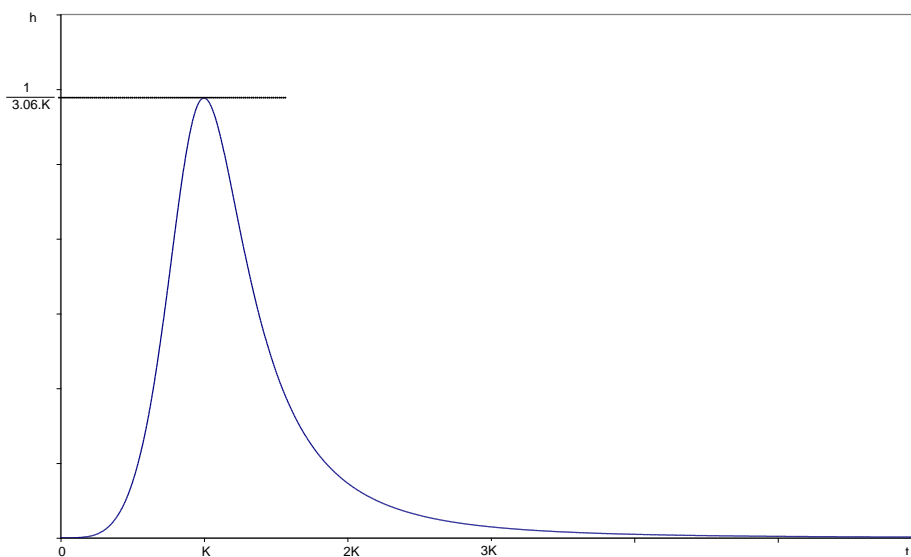
L'hydrogramme unitaire ici retenu est celui proposé dans la méthode SOCOSE. La fonction de transfert est définie comme suit :

$$h(t) = \frac{3.6}{1.53} * \frac{1}{K} * \frac{\left(\frac{t}{K}\right)^4}{1 + \left(\frac{t}{K}\right)^8}$$

Avec K : temps de réponse du bassin versant égal par définition à T_{ruis1} .

=

La fonction a l'allure suivante :



L'hydrogramme ruisselé à l'exutoire du bassin versant se calcule par convolution comme suit :

$$Q_{ruis1}(t) = S * \int_0^t h\left(\frac{t-\tau}{K}\right) * P_{ruis1}(\tau) * d\tau \text{ (en m}^3\text{/s)}$$

Avec : S : superficie du bassin versant en m^2
 $l(t)$: hyétogramme de la pluie nette en m/s

Ajustement des paramètres du modèle

La formulation présentée ici est fondée sur le respect des phénomènes physiques gouvernant les lois d'échanges entre la surface, la couche de sol et les couches profondes, elle reflète également les enseignements tirés de l'application de formulations diverses testées pour reproduire au mieux les observations dans des situations contrastées.

Le nombre de paramètres à caler (7 au total) n'est pas une difficulté en soi car la grande majorité des valeurs de ces différents paramètres peut être déduite de la simple analyse des hyétogrammes et hydrogrammes expérimentaux sur un cycle hydrologique complet d'une année :

- le paramètre « Truis » est compris entre un heure et 3 jours selon la taille du bassin versant : il s'apprécie par la lecture du temps séparant la pointe du hyétogramme et celle de l'hydrogramme qui lui succède,
- le paramètre « Tres », est compris entre 20 et 40 jours : il s'agit du temps de ressuyage du sol après une période pluvieuse : ce paramètre est significatif pour des sols plutôt imperméables. Il s'apprécie en analysant la forme de la décroissance de l'hydrogramme sur la période de temps jours qui suit un épisode pluvieux,
- Le paramètre Q_f correspond au débit d'étiage moyen du cours d'eau récepteur,
- Le paramètre « J » est ajusté pour retrouver les débits maxima observés en période de crue, il est typiquement compris entre 100 et 350 mm,
- La RFU est estimée à partir la réponse des sols en début de saison, en calculant la pluie nette tombée avant que le débit du cours d'eau ne commence à réagir. (valeur typique de l'ordre de 50 mm).
- Le paramètre Alp_n détermine le taux d'arrachement de la neige par la pluie. c'est un coefficient proportionnel à l'intensité de la fraction pluvieuse de la précipitation.
- Enfin le paramètre T_{resn} règle le délai pour le départ en ruissellement du stock de neige arraché par la pluie. On constate en effet dans la pratique un décalage temporel entre le ruissellement de l'eau sur le sol et les apports complémentaires générés par l'entraînement du manteau neigeux.