



MINISTÈRE DE L'INTÉRIEUR
ET À LA GRANDE RÉGION
Administration de la gestion de l'eau



Centre de Recherche Public
Gabriel Lippmann

Les inondations de janvier 2011 au Luxembourg

Analyse



Administration de la gestion de l'eau
Administration des services techniques de l'agriculture
Centre de recherche public – Gabriel Lippmann



Projet cofinancé par le Fonds européen de
développement régional dans le cadre du
programme Interreg IV-A Grande Région

L'Union européenne investit dans votre avenir.



Gestion des crues et des étiages dans le
bassin versant de la Moselle et de la Sarre

Avec la collaboration de :

Administration de la gestion de l'eau

Roland Ernster

Daniel Göhlhausen

Christine Hilbert-Bastian

Claude Ripp

Claude Prim

Administration des services techniques de l'agriculture

Denise Buchel

Centre de recherche public – Gabriel Lippmann

Sonia Heitz

Lucien Hoffmann

Renaud Hostache

Jean-François Iffly

Patrick Matgen

Laurent Pfister

Cyrille Tailliez

Table des matières

1. Chronologie de l'épisode	1
1.1. Situation météorologique du 1er au 7 janvier 2011 sur l'Europe de l'Ouest	1
1.2. Situation météorologique du 1er au 7 janvier 2011 au Luxembourg	1
1.3. Synthèse des conditions hydrologiques au Luxembourg	4
1.4. Modélisations/prévisions de crue par le modèle LARSIM	5
1.5. Gestion du barrage d'Esch-sur-Sûre	7
2. Observations effectuées lors de la phase de crise	9
3. Analyse statistique des conditions hydrométéorologiques de janvier 2011	11
3.1. Périodes de retour des débits maximum observés	11
3.2. Temps de montée de crue	12
3.3. Vitesse de propagation des ondes de crue	13
3.4. Coefficients d'écoulement	13
3.5. Niveaux piézométriques dans les alluvions de l'Alzette	15
3.6. Profils de vitesse dans la plaine alluviale de l'Alzette relevés le 7 janvier 2011	16
4. Cartographie des champs d'inondations	17
5. Discussion et conclusions	20

1. Chronologie de l'épisode

1.1. Situation météorologique du 1er au 7 janvier 2011 sur l'Europe de l'Ouest

Au début du mois de janvier, des cellules de hautes pressions étaient centrées sur les Iles Britanniques et le Nord de l'Atlantique (avec des extensions jusqu'à l'Islande et le Groenland). Cette configuration des champs de pression atmosphérique assurait ainsi un apport important de masses d'air froides, occasionnant des conditions hivernales très rudes (températures négatives et chutes de neige abondantes). Au cours de la semaine du 3 au 8 janvier 2011 cet épisode hivernal allait connaître une fin abrupte. La chronologie des conditions météorologiques est reprise ci-dessous :

Lundi, 3 janvier 2011 :

Avec l'arrivée d'une perturbation depuis le Nord de l'Atlantique, c'est une circulation atmosphérique du Sud-Ouest qui doit mettre fin aux conditions hivernales dans les jours à venir. Le redoux est annoncé dans nos contrées pour le milieu de la semaine.

Mercredi, 5 janvier 2011 :

La fin de la vague de froid est dorénavant confirmée pour le jeudi 6 janvier, avec l'arrivée de perturbations amenant des masses d'air plus douces (températures pouvant grimper jusqu'à 10°C, voire au-delà). La journée de jeudi risque cependant de débiter par des pluies localement verglaçantes.

Jeudi, 6 janvier 2011 :

Dès le jeudi matin est annoncée l'arrivée d'une nouvelle perturbation amenant un temps pluvieux en provenance du Nord de l'Atlantique, devant renforcer le redoux et par conséquent également une accélération de la fonte du manteau neigeux en place. Les conditions météorologiques sont qualifiées de propices à la formation de crues et inondations, notamment par les services météorologiques DWD et Météo-France. Une nouvelle baisse des températures est annoncée pour la fin de la semaine.

Vendredi, 7 janvier 2011 :

L'analyse des conditions météorologiques de la veille révèle que la limite entre une masse d'air arctique et une masse d'air subtropical était localisée au-dessus de la Manche. Au Sud de cette limite les températures ont pu dépasser 10°C. L'appel d'air doux maritime s'est renforcé tout au long de la journée et les précipitations ont été continues et localement abondantes.

Pour la journée de vendredi est annoncé une poursuite du temps couvert et pluvieux. Les températures vont une nouvelle fois atteindre jusqu'à 10°C.

Le temps doux et pluvieux doit se poursuivre jusqu'à la journée de samedi. Localement, les températures pourront une nouvelle fois dépasser 10°C.

1.2. Situation météorologique du 1er décembre 2010 au 7 janvier 2011 au Luxembourg

Le mois de décembre 2010 a été plus froid que la normale (jusqu'à 4°C en-dessous des normales climatiques), et accompagné surtout d'une suite inhabituelle de chutes de neige. Sur l'ensemble du mois de décembre les précipitations (sous forme de pluie et de neige) ont atteint entre 65 mm dans l'Est et 120 mm sur le flanc Ouest du pays (Figure 1.2.1.).

Un premier léger redoux s'est produit entre le 19 et le 24 décembre, accompagné de pluies (Figure 1.2.3). Une première onde de crue sensible a ainsi été générée sur de nombreux cours d'eau à travers le pays. Avec le retour des températures négatives, les précipitations se sont progressivement transformées à nouveau en neige et les cours d'eau ont retrouvé rapidement leur niveau de base.

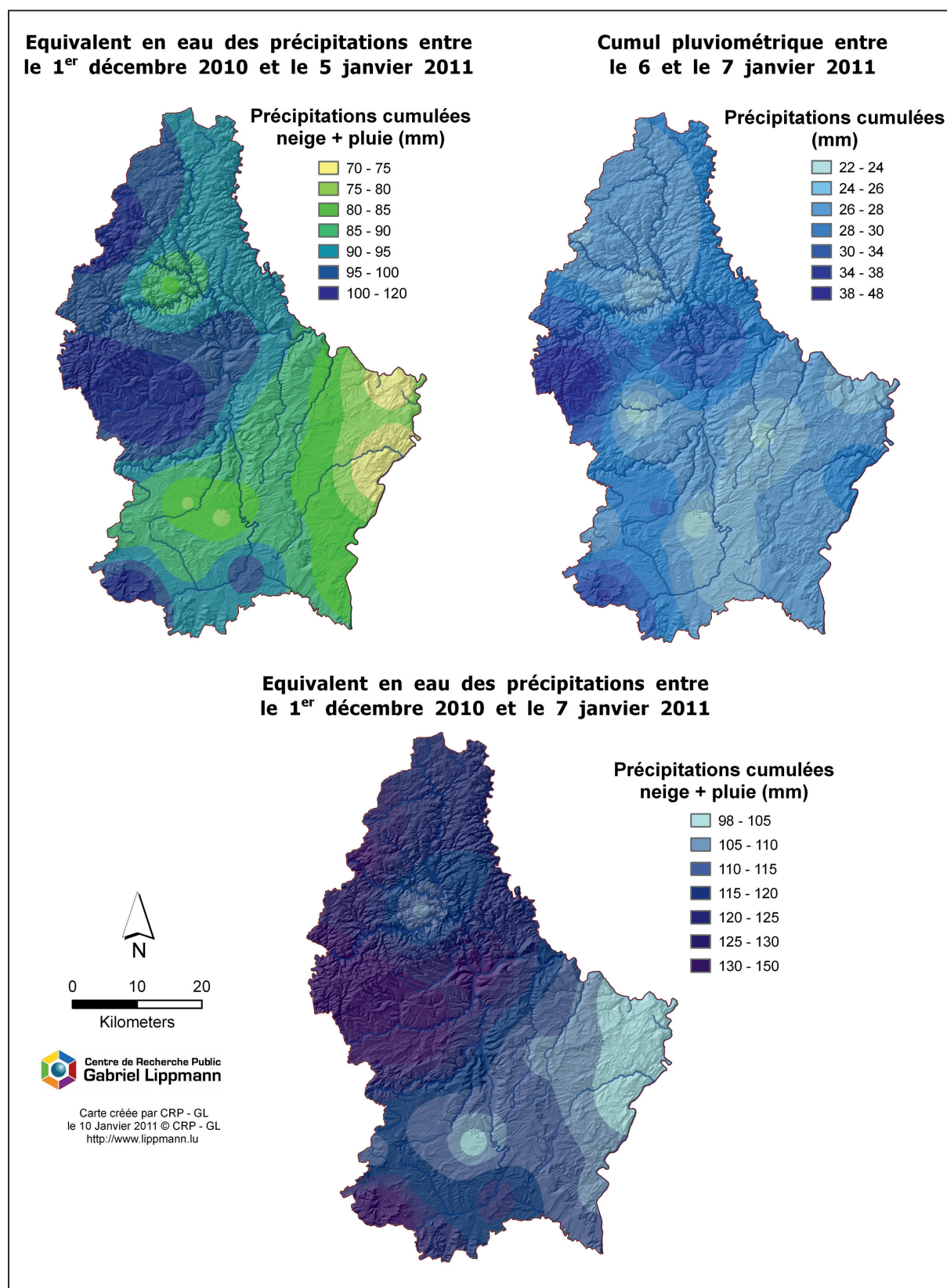


Figure 1.2.1. Cartographie des cumuls de précipitations entre décembre 2010 et janvier 2011 au Luxembourg

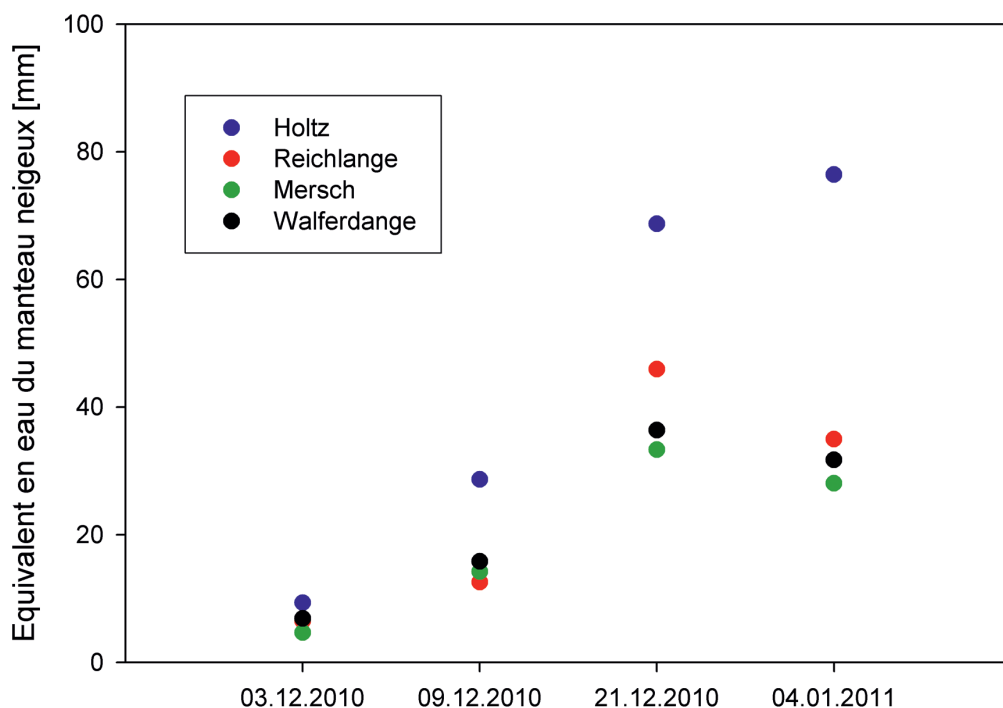


Figure 1.2.2. Evolution des équivalents en eau du manteau neigeux entre le 3 décembre 2010 et le 4 janvier 2011 (stations de Holtz, Reichlange, Mersch et Walferdange)

Sur l'ensemble du mois de décembre 2010, les équivalents en eau enregistrés suite aux fortes précipitations neigeuses ont atteint progressivement des valeurs considérables (Figure 1.2.2.). Ainsi, le 21 décembre, les équivalents en eau atteignaient 68.7 mm à Holtz, 45.9 mm à Reichlange, 36.4 mm à Walferdange et 33.3 mm à Mersch. Tandis que dans le Gutland cette couche de neige allait dans les jours suivants plutôt avoir tendance à diminuer, des précipitations neigeuses supplémentaires dans l'Ösling ont augmenté l'équivalent en eau à 76.4 mm jusqu'au 4 janvier 2011.

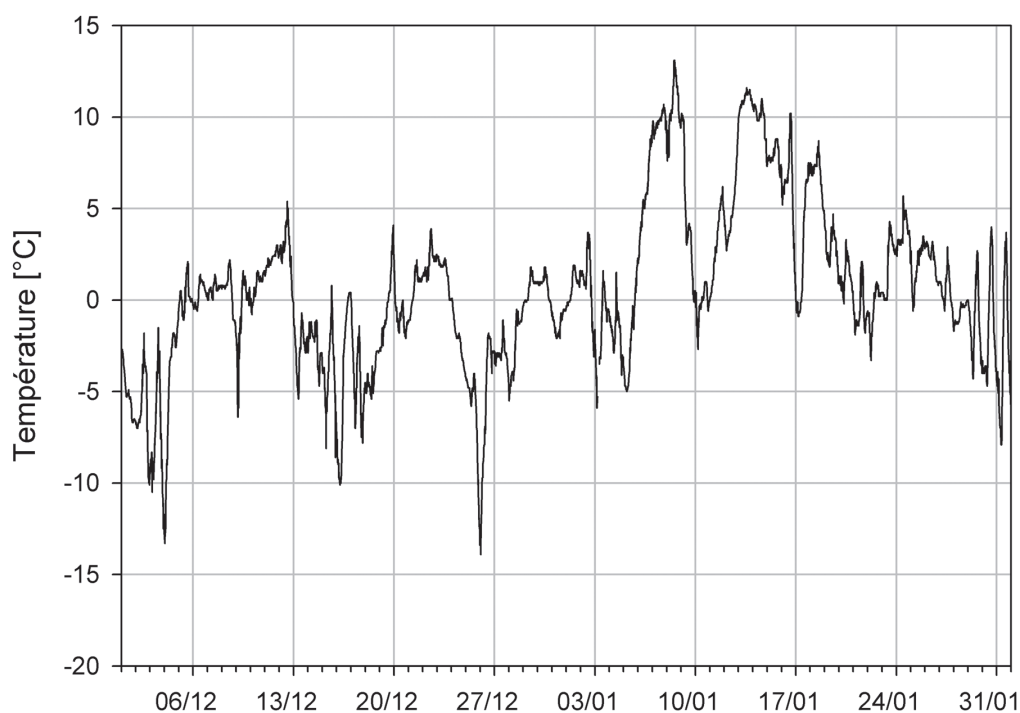


Figure 1.2.3. Evolution des températures du 01 décembre 2010 au 31 janvier 2011 à la station d'observation d'Useldange

Les conditions hivernales ont persisté jusqu'au 5 janvier. Chassé par une masse d'air sensiblement plus douce, le froid a ensuite rapidement cédé la place à des températures anormalement élevées pour la saison. Ainsi, près de 7°C ont pu être relevés localement dans la nuit du 6 au 7 janvier et jusqu'à 14°C ont été mesurés dans l'après-midi du 8 janvier. Le remplacement brutal des masses d'air a été accompagné par le passage de plusieurs fronts très actifs qui ont apporté leur lot de précipitations. Sur l'ensemble du territoire, les cumuls de pluie ont ainsi atteint entre 20 (flanc est) et 50 mm (flanc ouest).

En quelques heures seulement, le redoux exceptionnel a entraîné une fonte rapide du manteau neigeux sur l'ensemble du pays, renforcée par les pluies dès la nuit du 5 au 6 janvier.

1.3. Synthèse des conditions hydrologiques au Luxembourg

Les cumuls de précipitations enregistrés tout au long du mois de décembre 2010 sont dans l'ensemble très proches des normales trentennales (p.ex. 85.1 mm à Luxembourg-Findel en décembre 2011 pour une moyenne trentennale 1961-1990 de 76.1 mm – issue d'une série homogénéisée 1854-2010). Le caractère exceptionnel réside avant tout dans l'abondance des précipitations neigeuses et des hauteurs du manteau neigeux atteints (localement bien au-delà de 50 cm).

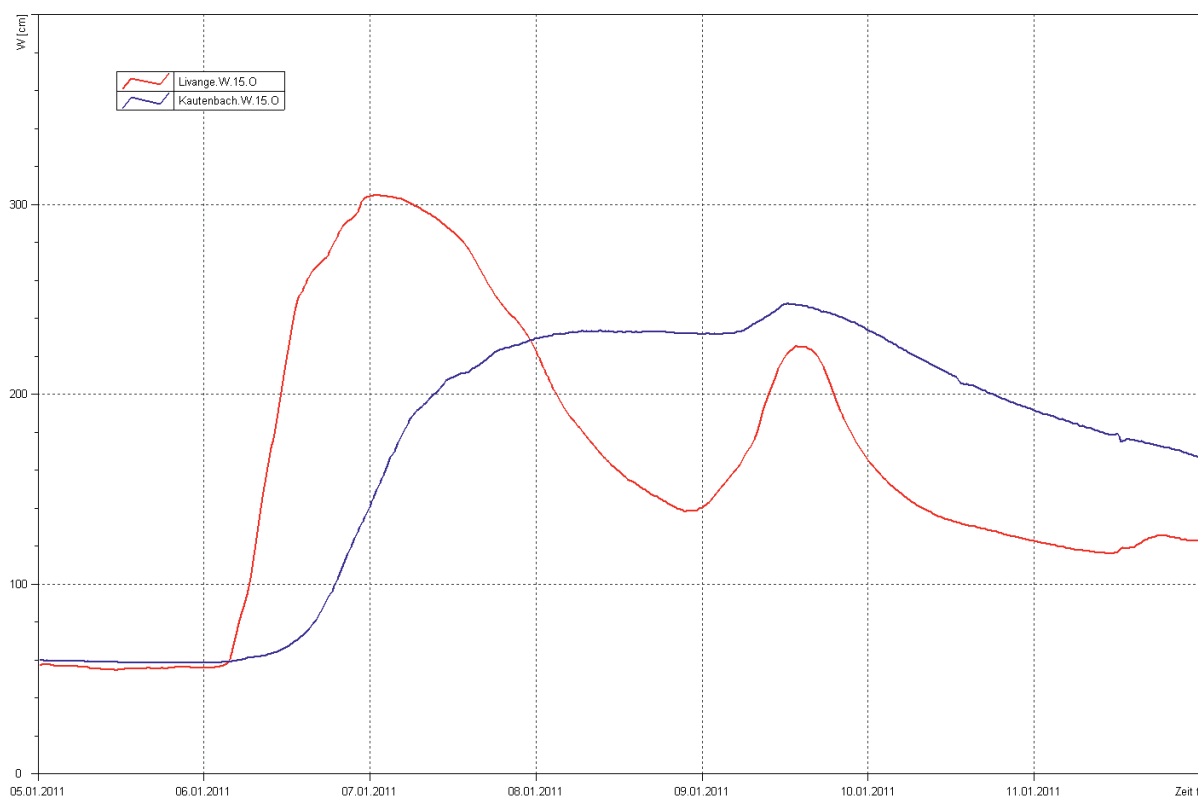


Figure 1.3.1. Comparaison des réactions des cours d'eau du sud du pays, comme l'Alzette à Livange, à ceux du nord comme la Wiltz à Kautenbach

Les quantités de pluie enregistrées entre le 7 et le 8 janvier n'ont pas été exceptionnelles (entre 20 et 50 mm). L'intensité des pluies est également restée très modérée, comme en témoignent les cumuls horaires, qui n'ont à aucun moment dépassé un temps de retour annuel.

La fonte brutale du manteau neigeux, combinée à des pluies modérées, a cependant conduit à une montée extrêmement rapide du niveau des cours d'eau. Premiers à réagir à ce changement des conditions météorologiques, les ruisseaux du Gutland ont très rapidement atteint des niveaux exceptionnels. Certains affluents de rive gauche de l'Alzette situés en amont de

Luxembourg-ville ont ainsi atteint des débits dont la période de retour est très largement supérieure à 20 ans. Les pics de crue de l'Alzette observés à divers endroits du tronçon avaient des périodes de retour comprises entre 10 et 20 ans. Les hauteurs d'eau et débits observés sur le réseau hydrographique de l'Alzette étaient dans l'ensemble supérieurs à ceux observés en 2001, respectivement en 2003. Plus en aval, la Sûre et l'Our ont connu des niveaux d'eau moins exceptionnels, bien en deçà des niveaux observés en 2003 (Figure 1.3.1.).

Les cours d'eau de l'Ösling ont connu une montée moins rapide des niveaux. Les pics de crue y ont été atteint entre 24 et 48 heures plus tard que dans le Gutland. Là encore, les périodes de retour supérieures à 10 ans témoignent du caractère exceptionnel de l'épisode.

1.4. Modélisations/prévisions de crue par le modèle LARSIM

Le programme LARSIM (Large Area Runoff Simulation Model) est le modèle de bilan hydrologique utilisé pour la prévision des crues du bassin versant de la Sûre. Le système est opérationnel depuis 2007 auprès de l'Administration de la gestion de l'eau, dans le cadre du projet européen Interreg TIMIS flood. Le modèle simule en continu l'écoulement des cours d'eau principaux grâce à une base de données hydrométéorologiques actualisée au pas de temps horaire et des prévisions météorologiques fournies plusieurs fois par jour. Il en résulte des prévisions de débits pour la gestion des crues opérationnelle.

Lors de l'évènement de crue de janvier 2011, LARSIM a bien représenté le décalage nord-sud dans la production des ondes de crue. La situation de départ, bien reprise par le modèle, permet d'expliquer ce décalage. Le 4 janvier une couverture neigeuse enveloppe l'ensemble du pays et les sols sont saturés. Au courant du 5 janvier l'arrivée d'air plus doux déclenche une importante augmentation des températures. Les altitudes plus élevées dans le Nord du pays expliquent une différence négative de température de 2°C avec la moitié septentrionale du pays (Figure 1.4.1.).

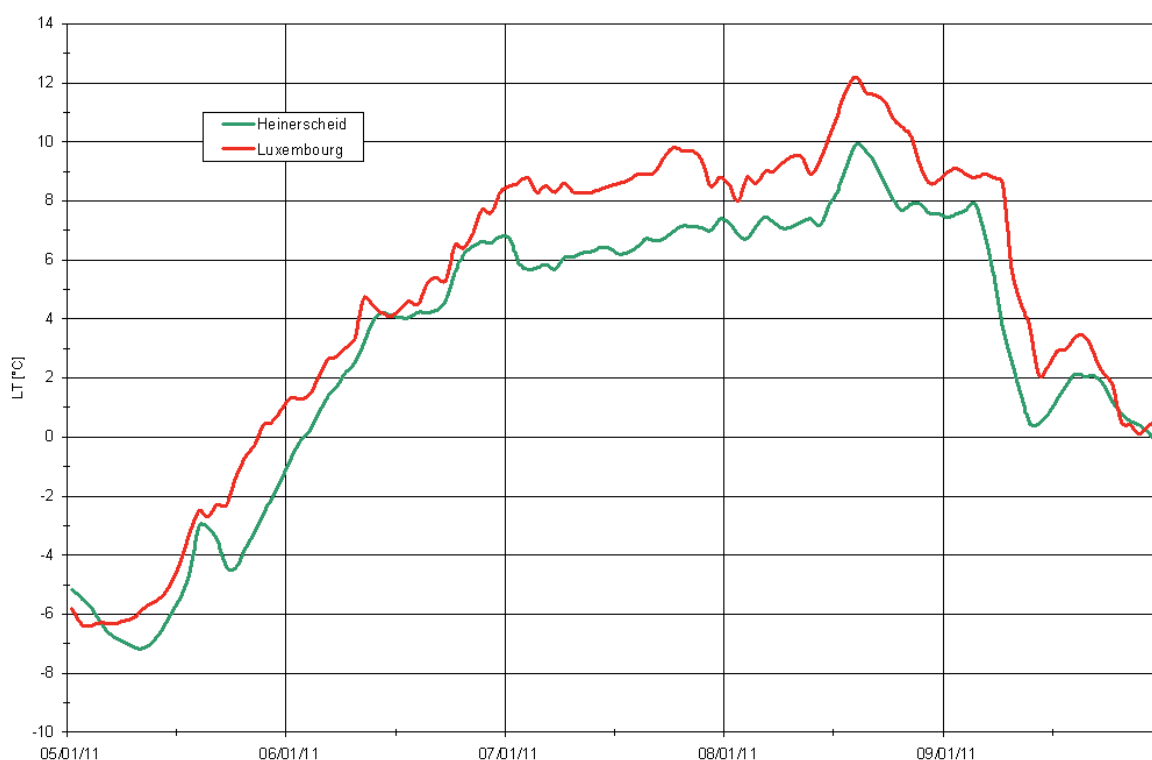


Figure 1.4.1. Evolution des températures du 05 janvier 2011 au 10 janvier 2011 aux stations d'observation de Heinerscheid et de Luxembourg

Le redoux des températures est accompagné d'un épisode pluvieux qui se manifeste dès le 5 janvier (Figure 1.4.2.). Le Sud du pays est plus fortement arrosé que le Nord. La combinaison de ces deux facteurs, hausse des températures accompagnée de précipitations, déclenche la fonte du manteau neigeux, ce qui se traduit par une hausse de la quantité en eau disponible pour l'écoulement. Les températures plus élevées et les précipitations plus abondantes au Sud entraînent une fonte plus rapide ainsi qu'une réaction plus rapide du système fluvial. En effet, la montée de crue des cours d'eau de la partie nord présente un retard de 48 heures par rapport à celle du sud.

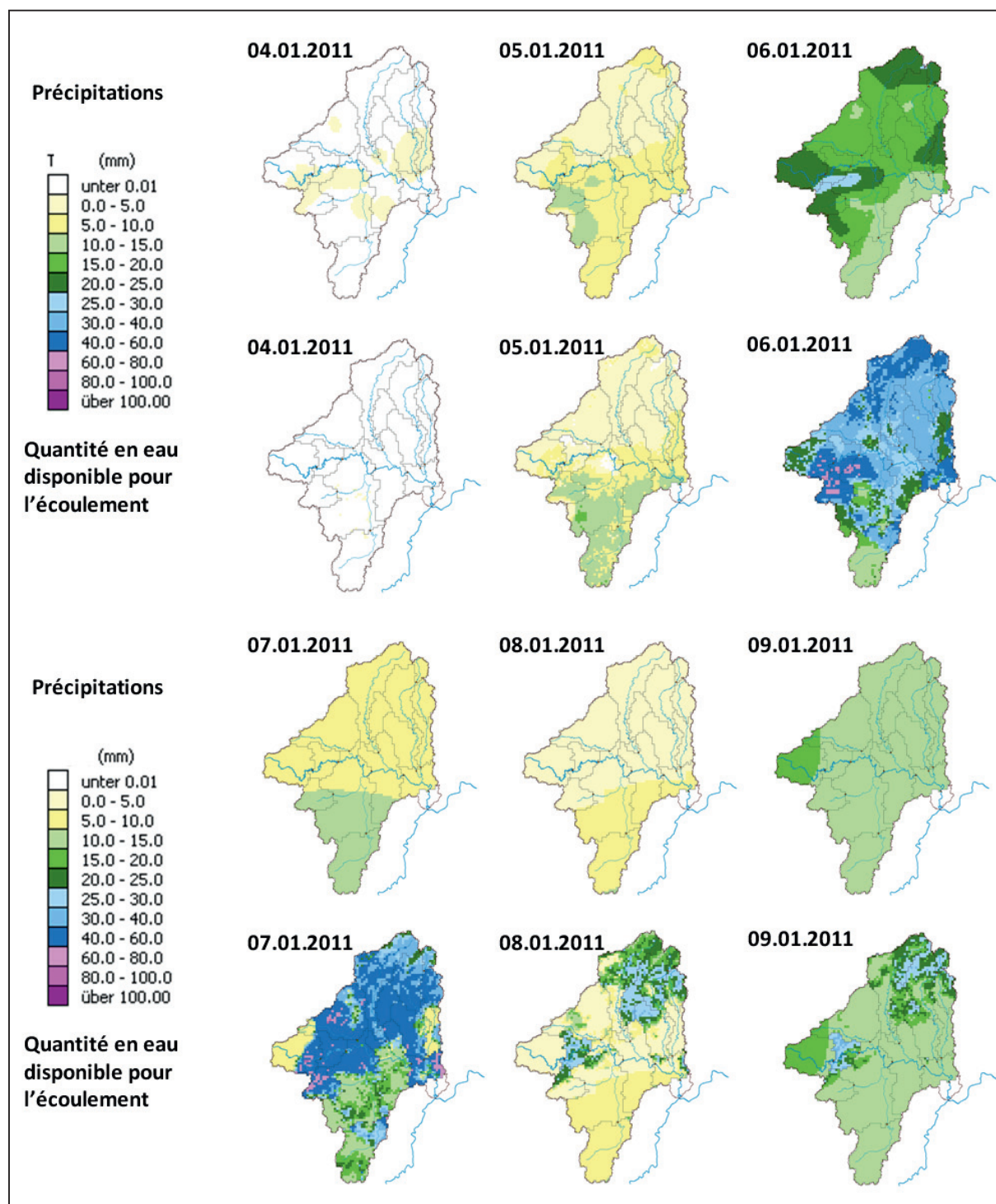


Figure 1.4.2. Evolution des précipitations (données mesurées) et de la quantité en eau disponible pour l'écoulement (données simulées) du 04 janvier 2011 au 9 janvier 2011 (sommées journalières)

Les données hydrologiques entrantes n'ont pas présenté d'anomalies. Cependant, la prévision de crue basée sur les prévisions météorologiques n'a pas permis de prévoir l'heure exacte du pic de crue. Le décalage horaire entre la prévision et la réalité de la montée de crue provient notamment des prévisions météorologiques qui ont indiquées une montée plus tardive et moins rapide des températures. Par contre, la hauteur d'eau maximale de l'évènement de crue a été bien simulée.

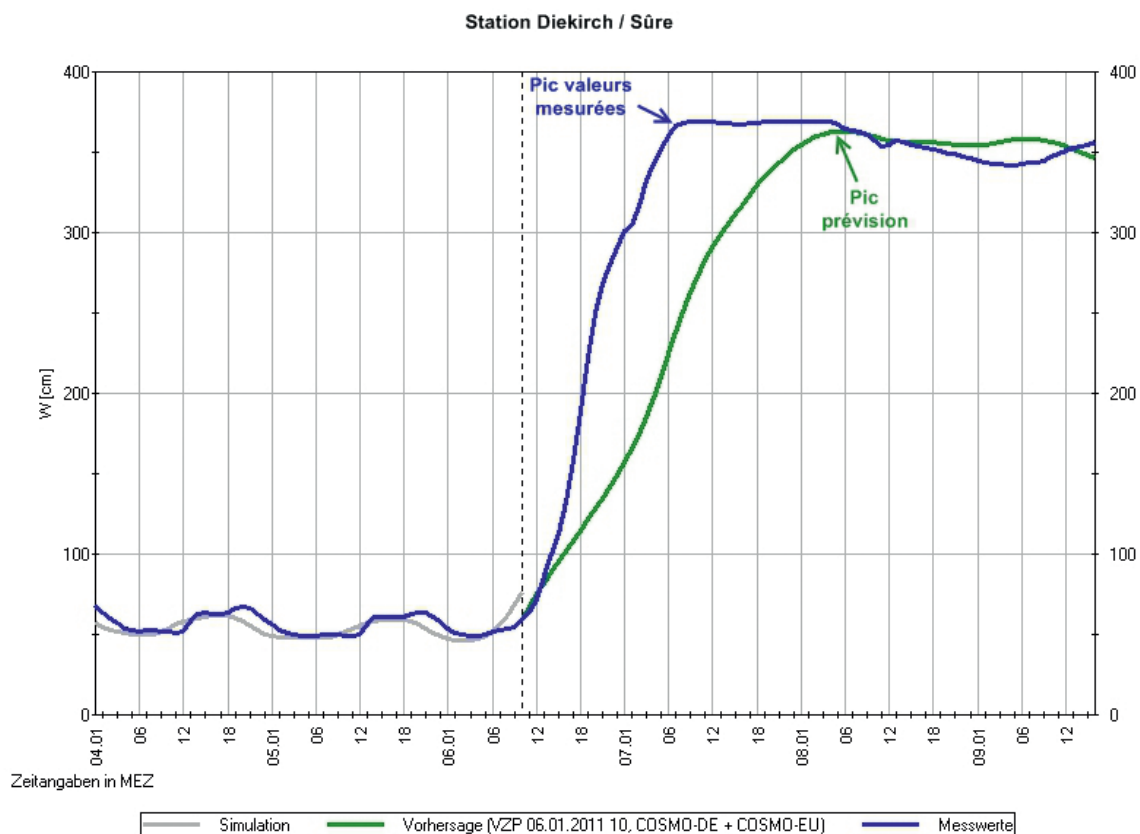


Figure 1.4.3. Prévision de LARSIM comparée aux observations à la station de Diekirch (Sûre)

Le modèle de prévision réagit avec un certain décalage dans la montée de crue, mais reproduit bien les pics de crue. La qualité du modèle est largement dépendante de la qualité des données entrantes (prévisions météorologiques et données hydrologiques mesurées). Il est important de noter que la prise en compte de la problématique liée à une couverture neigeuse par LARSIM reste encore à améliorer.

1.5. Gestion du barrage d'Esch-sur-Sûre

Lors de l'évènement de crue de janvier 2011 le barrage d'Esch-sur-Sûre a pleinement joué son rôle d'écrêteur de crues (Figure 1.5.1.). La capacité du barrage vouée à l'écrêtement de la pointe des crues courantes en période hivernale est de 9 mio. m³ (cote 317 – 320 m). Afin de permettre la régulation du barrage en cas de crue, il existe une consigne d'exploitation qui doit être suivie par l'exploitant lorsqu'un évènement de crue est attendu.

En janvier 2011, les apports maximums au barrage ont atteint 120 m³/s (débit arrivant). Suite à l'application de la consigne, l'exploitant a dû limiter les débits relâchés au barrage à 95 m³/s (débit qui peut être relâché au barrage sans provoquer de dommages en aval). Vu que le niveau du lac avant l'évènement de crue se situait à 315,2 m et le maximum atteint à 318 m, 7,5 mio. m³ ont ainsi pu être retenus.

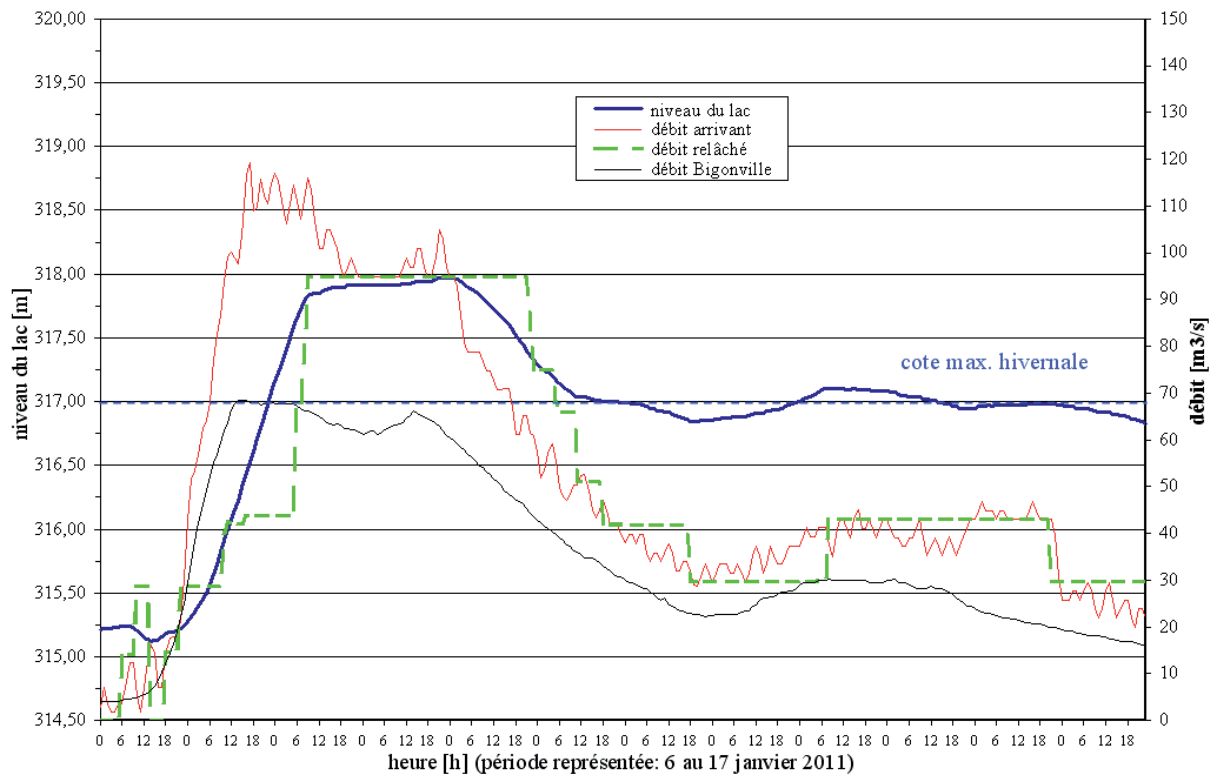


Figure 1.5.1. Gestion du barrage lors de l'évènement de crue de janvier 2011

L'influence du barrage sur l'écoulement de la crue en aval est représentée par le graphique ci-dessous. Lors de l'évènement de janvier 2011, l'influence du barrage a été minimale et s'est manifestée lors de la décrue à la station de Diekirch.

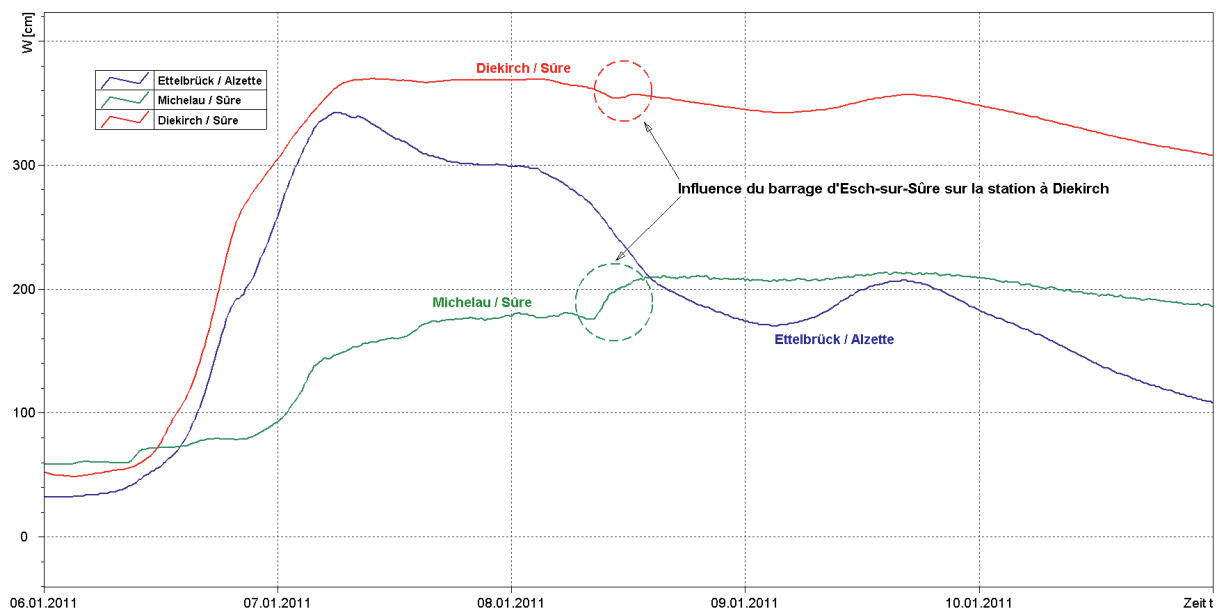


Figure 1.5.2. Influence du barrage d'Esch-sur-Sûre sur la Sûre à la station de Diekirch

2. Observations effectuées lors de la phase de crise

Grâce à un dispositif d'instruments de mesure moderne, mis progressivement en place par les pouvoirs publics (Administration de la gestion de l'eau, Administration des services techniques de l'agriculture, Administration des services de secours) et le Centre de recherche public-Gabriel Lippmann, les inondations qui ont suivi la fonte des neiges et les précipitations du 6 au 8 janvier ont pu être documentées avec une précision inégalée.

Un réseau de près de 50 limnigraphes surveille ainsi en continu les cours d'eau à travers l'ensemble du pays. Plus de 35 stations de mesure fournissent en outre à tout moment des informations sur les conditions météorologiques. En parallèle à ce dispositif de mesures automatisées, le CRP-Gabriel Lippmann et les pouvoirs publics avaient en outre mobilisé près d'une dizaine de personnes sur le terrain afin de réaliser tout au long de l'épisode des mesures précises de niveaux d'eau, d'étendues de champs d'inondations ou encore de vitesses d'écoulement, sur l'ensemble du réseau hydrographique du Luxembourg (Tableau 2.1.1.).

Grâce à la détermination des équivalents en eau correspondant aux précipitations neigeuses par l'Administration de la gestion de l'eau, il a été possible de suivre de décembre 2010 à janvier 2011 la contribution relative des précipitations neigeuses par rapport aux précipitations liquides incidentes entre le 6 et le 8 janvier 2011.

Pour la première fois, le CRP-Gabriel Lippmann a également pu coordonner en temps réel l'acquisition et l'analyse d'une image satellite prise de manière spécifique pour le Luxembourg au moment des inondations par le satellite canadien RADARSAT-2. Les informations acquises grâce à ce satellite ont d'ores et déjà permis de dresser une première carte précise de l'extension des inondations (cf section 4).

					Méthode								Débit		
Date	Heure	Lieu	Cours d'eau	Type	Suivi			Profondeur			nb	H	Qmin	Qmax	Q
					Fond	CGA	VTG	VB	BT	COV	profils	[cm]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]
06/01/2011	10:30	Livange	Alzette	ADP		X		X		0.023	9		13.67	14.66	14.32
06/01/2011	11:15	Berchem	Alzette	ADP			X		X	0.063	10		15.66	19.38	16.89
06/01/2011	12:20	Roeser	Alzette	ADP			X		X	0.029	6		16.5	17.93	17.36
06/01/2011	15:00	Pfaffenthal	Alzette	ADP			X	X		0.051	5		43.91	50.59	46.67
06/01/2011	15:55	Hunsdorf	Alzette	ADP		X		X		0.050	8		38.8	44.2	41.85
06/01/2011	16:35	Lintgen	Alzette	ADP		X		X		0.031	6		39.95	44.05	42.5
07/01/2011	08:25	Schifflange	Alzette	ADP		X		X		0.013	4	95	5.01	5.17	5.07
07/01/2011	09:10	Livange	Alzette	ADP		X			X	0.023	6		43.61	46.76	45.34
07/01/2011	09:50	Berchem	Alzette	ADP		X			X	0.029	6	242	25.67	28.34	26.97
07/01/2011	10:40	Roeser	Alzette	ADP	X				X	0.025	4	278	19.43	20.77	20
07/01/2011	11:40	Petrusse	Petrusse	ADP	X			X		0.018	4	104	6.08	6.36	6.17
07/01/2011	12:15	Pfaffenthal	Alzette	ADP			X		X	0.025	8		77.83	84.16	81.18
07/01/2011	13:55	Aulen	Alzette	ADP		X		X		0.003	3		91.34	92.07	91.71
07/01/2011	15:15	Lintgen	Alzette	ADP		X			X	0.021	4	274	73.04	77.13	75.56
07/01/2011	15:35	Lintgen R1	Alzette	ADP	X				X	0.018	3	274	6.75	7.06	6.89
07/01/2011	15:40	Lintgen R2	Alzette	ADP	X			X		0.033	3	274	4.51	4.89	4.68
07/01/2011	16:40	Hunsdorf	Alzette	ADP			X		X	0.010	6	340	83.88	86.4	84.57
10/01/2011	13:30	Bigonville	Sûre	ADP		X		X		0.017	5	227	52.82	55.39	54.28
10/01/2011	14:30	Winseler	Wiltz	ADP	X			X		0.031	5	139	14.39	15.26	14.86
10/01/2011	15:05	Kirel	Kirel	ADP	X				X	0.026	6	111	9.03	9.63	9.24
10/01/2011	15:35	Clervaux	Clerve	ADP			X	X		0.018	6	123	28.48	29.89	29.11

10/01/2011	16:45	Michellau	Sûre	ADP			X	X		0.026	11	210	150.6	162.6	157.69
11/01/2011	12:45	Michellau	Sûre	ADP			X	X		0.008	4	171	115	117.4	116.54
11/01/2011	13:45	Diekirch	Sûre	ADP			X	X		0.010	4	267	154.4	158.6	156.12
11/01/2011	14:30	Bollendorf	Sûre	ADP		X			X	0.037	4	283	217.9	240.5	231.7
13/01/2011	10:55	Michellau	Sûre	ADP			X	X		0.014	7	131	66.86	69.96	68.78
13/01/2011	11:55	Diekirch	Sûre	ADP			X	X		0.011	5	210	111.3	114.5	113.4
13/01/2011	13:10	Bollendorf	Sûre	ADP		X			X	0.004	4	239	181.4	183.1	182.19
13/01/2011	15:00	Mersch	Alzette	ADP		X		X		0.013	5	207	30.35	31.53	30.99
14/01/2011	11:25	Winseler	Wiltz	ADP			X	X		0.026	6	125	10.52	11.16	10.87
14/01/2011	12:05	Kirel	Kirel	ADP	X			X		0.032	7	100	5.82	6.37	6.08
14/01/2011	12:45	Clervaux	Clerve	ADP			X	X		0.029	10	124.5	26.05	28.12	27.15
14/01/2011	13:55	Michellau	Sûre	ADP		X		X		0.011	4	160	96.1	98.89	97.57
14/01/2011	15:15	Diekirch	Sûre	ADP	X			X		0.010	4	253	143.4	147.3	145.56

Tableau 2.1.1. Jaugeages effectués par le CRP-Gabriel Lippmann entre le 6 et le 14 janvier sur le réseau hydrographique luxembourgeois.

Station	Temp. air [°C]	Date	Heure	Hauteur neige [cm]	Equivalent en eau [mm]
Holtz	-7	03.12.2010	08:33	8	9.4
Reichlange	-7	03.12.2010	08:58	8	6.5
Mersch	-6	03.12.2010	09:36	10	4.7
Walferdange	-5	03.12.2010	09:55	5	6.9
Livange	-5	03.12.2010	10:23	6	7.9
Holtz	0	08.12.2010	08:10	16	23.6
Reichlange	1	08.12.2010	08:32	9	10.8
Mersch	1	08.12.2010	08:59	5	7.3
Walferdange	1	08.12.2010	09:21	4	13.0
Livange	1	08.12.2010	09:46	0	0.0
Holtz	0	09.12.2010	10:51	16	28.7
Reichlange	1	09.12.2010	11:15	13	12.6
Mersch	1	09.12.2010	11:41	10	14.2
Walferdange	2	09.12.2010	13:09	12	15.9
Livange	2	09.12.2010	13:54	8	7.9
Holtz	0	21.12.2010	08:19	45	68.7
Reichlange	0	21.12.2010	08:53	30	45.9
Mersch	1	21.12.2010	09:40	23,5	33.3
Walferdange	1	21.12.2010	09:59	26	36.4
Livange	1	21.12.2010	10:39	23	26.6
Heinerscheid		21.12.2010	09:30	42	66.3
Kautenbach		21.12.2010	10:10	30	46.8
Diekirch		20.12.2010	11:00	20	32.5
Holtz	-3	04.01.2011	08:54	28	76.4
Reichlange	-3	04.01.2011	09:15	14	35.0
Mersch	-1	04.01.2011	11:12	12	28.1
Walferdange	-1	04.01.2011	13:45	13	31.7
Livange	-1	04.01.2011	14:05	12	37.0

Tableau 2.1.2. Equivalents en eau du manteau neigeux mesurés par l'Administration de la gestion de l'eau.

3. Analyse statistique des conditions hydrométéorologiques de janvier 2011

3.1. Périodes de retour des débits maximum observés

Pour la détermination des périodes de retour des pics de crue observés lors de l'épisode de hautes eaux de janvier 2011 n'ont été retenues que les stations hydrométriques pour lesquelles la longueur totale des observations atteint au moins 10 ans.

Il s'est ainsi avéré que les périodes de retour déterminées sont très variables, comprises entre 1.4 an sur le Dudelingerbach et 33 ans sur la Mierbech. La répartition géographique de ces valeurs obéit à une certaine logique, avec les périodes de retour les plus longues concentrées sur les bassins marneux du Sud-Ouest du pays (Mierbech, Mamer, Bibeschbach, Schwebich). Plus au Sud, les cours d'eau étaient caractérisés par des périodes de retour faibles (inférieures à 5 ans). Au Nord du pays, les pics de crue observés avaient des périodes de retour comprises entre 5 et 15 ans.

Pour le Sud-Ouest, les valeurs très élevées sont certainement à imputer en partie à la combinaison de substrats peu perméables sur lesquels un épais manteau neigeux a fondu en l'espace de quelques heures seulement sous l'effet du redoux très marqué qui a eu lieu à partir du 6 janvier 2011.

Dans le Nord du pays, le redoux était légèrement tempéré par l'effet de la topographie sur les températures des masses d'air. La fonte du manteau neigeux s'y opérait de manière plus progressive d'une part et le substrat schisteux a joué son rôle naturel de retardateur des ondes de crue d'autre part.

Cours d'eau	Station	Date	Qmax, Hmax	Période de retour
Mierbech	Huncherange	06/01/2011 18:45	152 cm	33 ans
Schwebich	Useldange	06/01/2011 22:00	17.21 m ³ .s ⁻¹	26 ans
Bibeschbach	Livange	06/01/2011 21:30	5.7 m ³ .s ⁻¹	24 ans
Wollefsbach	Useldange	06/01/2011 22:30	3.48 m ³ .s ⁻¹	13 ans
Wiltz	Winseler	09/01/2011 08:30	25.12 m ³ .s ⁻¹	12.5 ans
Alzette	Hunsdorf	07/01/2011 16:15	84.73 m ³ .s ⁻¹	12.4 ans
Sûre	Michelau	09/01/2011 13:00	210.2 m ³ .s ⁻¹	9.5 ans
Alzette	Lintgen	07/01/2011 19:15	86.86 m ³ .s ⁻¹	9.2 ans
Eisch	Hagen	06/01/2011 22:45	16.32 m ³ .s ⁻¹	8.5 ans
Pall	Niederpallen	06/01/2011 19:30	18.18 m ³ .s ⁻¹	4.5 ans
Attert	Eil	06/01/2011 23:45	203 cm	4.4 ans
Alzette	Schifflange	06/01/2011 16:45	13.8 m ³ .s ⁻¹	3.4 ans
Pétrusse	Luxembourg	06/01/2011 16:30	151 cm	2.3 ans
Huwelerbach	Hovelange	06/01/2011 17:45	0.19 m ³ .s ⁻¹	1.5 an
Dudelingerbach	Bettembourg	06/01/2011 17:00	9.4 m ³ .s ⁻¹	1.4 an

Tableau 3.1.1. Périodes de retour des pics de crue observés

3.2. Temps de montée de crue

Les temps de montée de crue observés entre le 6 et le 9 janvier 2011 varient entre 16 heures et un peu plus de 3 jours. Les bassins-versants de petite taille et de taille moyenne dans le Sud-Ouest du Luxembourg ont eu des réactions rapides, avec une amorce de montée d'hydrogramme en tout début de journée du 6 janvier, suivie du pic de crue absolu en début de soirée du même jour. Cette amorce est avant tout imputable au redoux très prononcé qui s'est opéré à ce moment.

Cours d'eau	Station	Date début montée	H init. [cm]	Date max.	H max. [cm]	Temps de montée
Dudelingerbach	Bettembourg	06/01/2011 00:45	123.3	06/01/2011 17:00	123.3	00:16:15
Attert	Useldange	06/01/2011 01:45	29.7	07/01/2011 01:00	267.8	00:23:15
Aalbach	Bous	06/01/2011 02:30	23.3	06/01/2011 19:00	174.3	00:16:30
Rau de Cessange	Cessange	06/01/2011 00:20	20.2	06/01/2011 19:00	120.1	00:18:40
Rau de Colpach	Colpach	05/01/2011 23:30	27.3	07/01/2011 09:45	103.2	01:10:15
Attert	Eil	06/01/2011 01:45	44.2	06/01/2011 22:45	202.2	00:21:00
Hallerbach	Grundhof	06/01/2011 02:45	24.7	06/01/2011 22:00	89.6	00:19:15
Eisch	Hagen	06/01/2011 02:00	15.5	06/01/2011 22:45	197.1	00:20:45
Huewelerbach	Hovelange	06/01/2011 01:15	10.4	06/01/2011 17:45	26.3	00:16:30
Mierbech	Huncherange	06/01/2011 00:15	27.3	06/01/2011 18:45	151.7	00:18:30
Alzette	Hunsdorf	06/01/2011 02:15	34.3	07/01/2011 16:15	342	01:14:00
Clerve	Kautenbach	05/01/2011 22:30	36.8	09/01/2011 16:15	157	03:17:45
Kaylbach	Kayl	06/01/2011 00:00	17.1	06/01/2011 15:45	165	00:15:45
Alzette	Lintgen	06/01/2011 03:15	22.9	07/01/2011 19:15	275.9	01:16:00
Bibesbach	Livange	06/01/2011 02:00	6.2	06/01/2011 21:30	72.8	00:19:30
Petrusse	Luxembourg	06/01/2011 00:30	44.0	06/01/2011 16:30	150.8	00:16:00
Mamer	Mamer	06/01/2011 02:45	13.5	06/01/2011 21:15	114.4	00:18:30
Kirel	Merkholtz	06/01/2011 02:45	37.2	09/01/2011 07:30	124.8	03:04:45
Rau de Merl	Merl	06/01/2011 00:45	25.7	06/01/2011 19:45	153.6	00:19:00
Pall	Niederpallen	06/01/2011 00:00	34.9	06/01/2011 19:30	215.9	00:19:30
Roudbach	Platen	06/01/2011 00:30	33.3	07/01/2011 07:45	137.2	01:07:15
Mess	Pontpierre	06/01/2011 01:00	31.1	06/01/2011 19:15	244.1	00:18:15
Alzette	Schifflange	06/01/2011 00:00	46.3	06/01/2011 16:45	124.5	00:16:45
Schwebich	Useldange	06/01/2011 00:15	23.3	06/01/2011 22:00	189.8	00:21:45
Weierbach	Useldange	05/01/2011 23:45	21.7	09/01/2011 08:30	55.2	03:08:45
Wiltz	Winseler	06/01/2011 03:00	29.1	09/01/2011 08:30	166.6	03:05:30

Cours d'eau	Station	Date début montée	H init. [cm]	Date max.	H max. [cm]	Temps de montée
Sûre	Bigonville	06/01/2011 02:00	60	07/01/2011 14:00	269	01:12:00
Attert	Bissen	06/01/2011 01:45	60	07/01/2011 02:00	347	01:00:15
Sûre	Bollendorf	06/01/2011 09:15	96	07/01/2011 23:45	474	01:14:30
Clerve	Clervaux	06/01/2011 07:15	52	09/01/2011 12:30	179	03:05:15
Our	Dasbourg	06/01/2011 07:45	70	09/01/2011 15:15	262	03:07:30
Sûre	Diekirch	06/01/2011 04:00	49	07/01/2011 09:30	370	01:05:30
Alzette	Ettelbruck	06/01/2011 02:45	32	07/01/2011 05:45	342	01:03:00
Wark	Ettelbruck	06/01/2011 03:15	26	07/01/2011 09:30	156	01:06:15
Sûre	Heiderscheidergr.	06/01/2011 20:30	53	09/01/2011 20:00	169	02:23:30
Alzette	Hesperange	06/01/2011 01:45	68	07/01/2011 07:30	368	01:05:45
Eisch	Hunnebour	06/01/2011 08:30	50	07/01/2011 14:30	331	01:06:00
Wiltz	Kautenbach	06/01/2011 04:15	59	09/01/2011 12:15	248	03:08:00
Alzette	Livange	06/01/2011 03:00	56	07/01/2011 00:45	305	00:21:45
Alzette	Mersch	06/01/2011 00:45	96	07/01/2011 20:00	484	01:19:15
Sûre	Michelau	06/01/2011 08:45	60	09/01/2011 14:30	214	03:05:45
Wark	Niederfeulen	06/01/2011 01:15	49	07/01/2011 08:00	185	01:06:45
Chiers	Pétange	06/01/2011 01:30	39	06/01/2011 19:30	241	00:18:00
Alzette	Pfaffenthal	06/01/2011 01:00	28	07/01/2011 08:45	334	01:07:45
Sûre	Rosport	06/01/2011 11:45	129	08/01/2011 02:15	668	01:14:30
Mamer	Schoenfels	06/01/2011 04:00	14	07/01/2011 01:15	303	00:21:15
Alzette	Steinsel	06/01/2011 02:45	11	07/01/2011 11:45	332	01:09:00
Our	Vianden	06/01/2011 09:45	70	09/01/2011 19:45	280	03:10:00
Alzette	Walferdange	06/01/2011 02:45	58	07/01/2011 11:45	289	01:09:00

Tableau 3.2.1. Temps de montée des crues du 6 au 9 janvier 2011.

Dans le Nord du pays, les crues ont été amorcées également aux premières heures du 6 janvier ; par contre, les pics de crue ont été observés après 24 heures, voire même 72 heures. Là encore, c'est l'influence du dégel moins rapide d'une part et l'effet tampon des substrats schisteux altérés d'autre part qui sont à l'origine de ce décalage. Bien évidemment, la rapidité de réaction des cours d'eau est également à mettre en relation avec la taille des bassins-versants.

3.3. La vitesse de propagation des ondes de crue

La propagation des ondes de crues a pu être suivie grâce aux nombreuses stations limnimétriques déployées sur le réseau hydrographique (Tableau 3.3.1.). Sur l'Alzette, les vitesses de propagation déterminées reflètent bien l'influence de l'alternance entre parties du tronçon tantôt élargies, tantôt rétrécies. Entre Schifflange et Hesperange, où la plaine alluviale de l'Alzette est plutôt large et permet de larges débordements, la vitesse de transfert de l'onde de crue était de l'ordre de 1.2 à 1.4 km.h⁻¹. Cette vitesse a ensuite très fortement augmenté entre Hesperange et Pfaffenthal (8.3 km.h⁻¹) en raison du rétrécissement naturel de la vallée de l'Alzette au niveau de son passage à travers le grès du Luxembourg. Cette progression était ensuite à nouveau ralentie avec l'élargissement de la vallée entre Luxembourg-ville et Lintgen (0.6 à 1.1 km.h⁻¹).

Dans la vallée de l'Attert, les vitesses de propagation de l'onde de crue ont été relativement soutenues (jusqu'à 7.8 km.h⁻¹), notamment en raison d'un potentiel de débordement nettement moins important fourni par la plaine alluviale entre Ell et Bissen.

Tronçon	Distance [km]	Temps de transfert [h]	Vitesse de progression [km.h ⁻¹]
Schifflange - Livange	9.66	08:00	1.2
Livange - Hesperange	9.17	06:45	1.4
Hesperange - Pfaffenthal	10.33	01:15	8.3
Pfaffenthal - Walferdange	6.34	03:00	2.1
Steinsel - Hunsdorf	2.69	04:30	0.6
Hunsdorf - Lintgen	3.24	03:00	1.1
Lintgen - Mersch	5.01	00:45	6.7
Mersch - Ettelbruck	15.55	02:30	6.2
Ettelbruck - Diekirch	5.56	03:45	1.5
Diekirch - Bollendorf	21.51	14:15	1.5

Tronçon	Distance [km]	Temps de transfert [h]	Vitesse de progression [km.h ⁻¹]
Ell - Reichlange	6.92	01:15	5.5
Reichlange - Useldange	6.11	01:00	6.1
Useldange - Bissen	7.79	01:00	7.8

Tableau 3.3.1. Vitesses de propagation des ondes de crue du 7 janvier 2011 sur l'Alzette et l'Attert

3.4. Les coefficients d'écoulement

Des courbes double-cumuls précipitations-débit ont été réalisées pour quelques bassins-versants représentatifs du contexte hydrologique luxembourgeois : Bibeschbach - marnes, Dudelingerbach - bassin anthropisé, Wiltz - schistes, Eisch (Hagen) - marnes, Huewelerbach - grès, Attert (Useldange) - grès & marnes (Figure 3.4.1.).

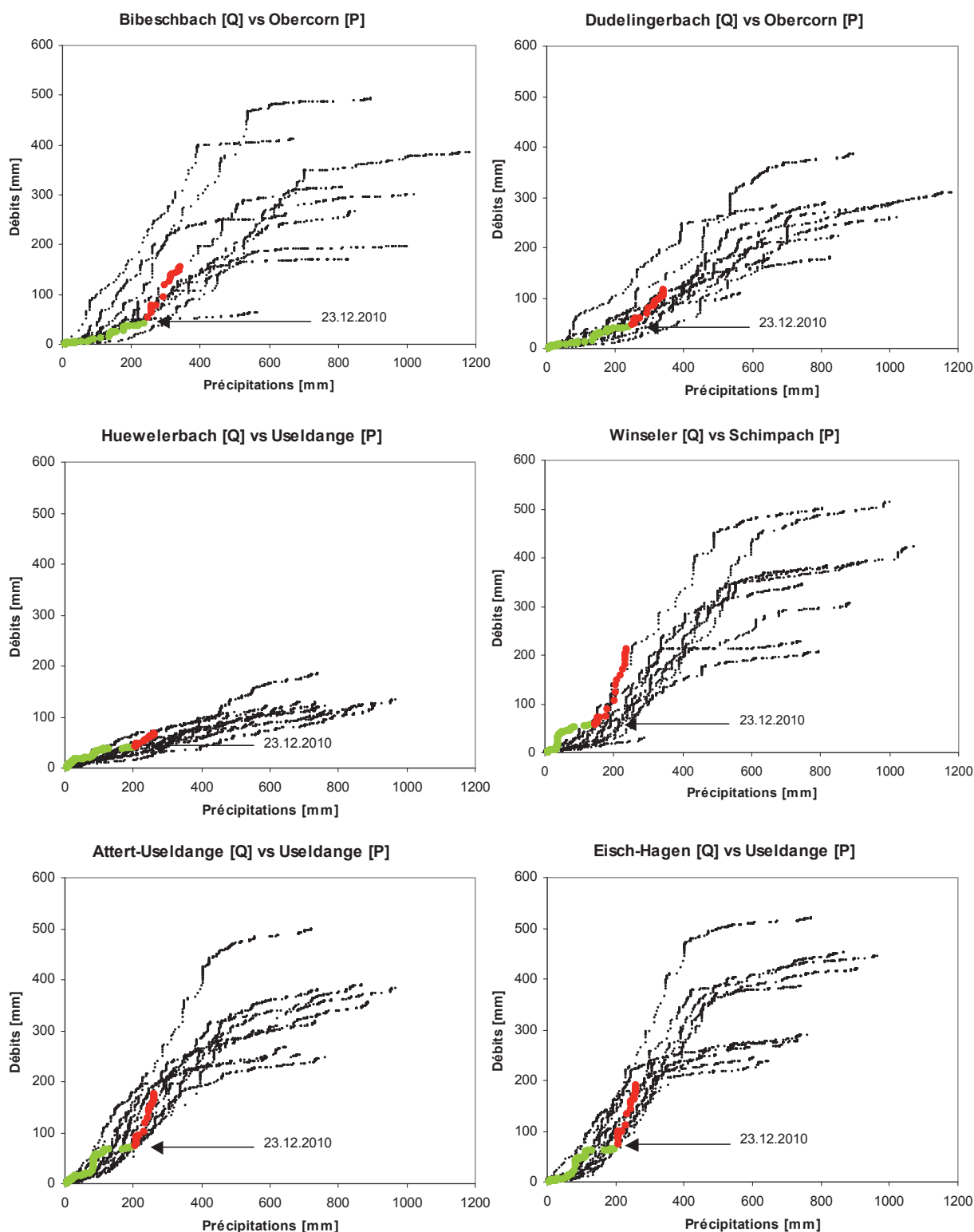


Figure 3.4.1. Courbes double-cumuls précipitations-débits (courbes noires = années hydrologiques de 2001 à 2010 ; courbes en couleur = année hydrologique 2010-2011 ; changement de couleur = date pivot)

Les courbes double-cumuls établies sur base des observations pluviométriques et débitmétriques au cours des années hydrologiques (octobre – septembre) de 2001 à 2010 révèlent une stabilisation des pentes en hiver qui est caractéristique et propre à chaque bassin-versant. En hiver, une pente forte traduit une transformation rapide des précipitations en écoulement, suivie en général par une pente très faible en été. Ces bassins sont caractérisés soit par des substrats peu perméables (p.ex. Bibeschbach, Eisch), soit par des bassins fortement

anthropisés (p.ex. Dudelingerbach). Dans tous les cas leur capacité de percolation et leur potentiel de constitution de réserves souterraines sont réduits. Les bassins à pente hivernale plus faible, voire identiques entre hiver et été, traduisent une forte infiltration des précipitations et une restitution lente des réserves souterraines constituées (p.ex. Huewelerbach).

Au cours de l'hiver 2010-2011, les courbes double-cumuls de la plupart des bassins-versants étudiés ont révélé un comportement atypique, avec une rupture de pente très nette vers le 23 décembre. A partir de cette date, le rapport entre débits observés aux stations limnimétriques et précipitations relevées était proche de 1, voire supérieur à 1. Des courbes double-cumuls aussi fortes traduisent l'influence de l'effet combiné de précipitations liquides incidentes et d'une fonte rapide d'un manteau neigeux constitué précédemment.

A partir du 23 décembre la très grande majorité des bassins-versants du Luxembourg étaient ainsi entrés dans une phase sensible, se traduisant par une production rapide et anormalement élevée d'écoulement en comparaison aux précipitations incidentes.

3.5. Niveaux piézométriques dans les alluvions de l'Alzette

Des courbes de niveaux piézométriques classés ont été réalisées pour plusieurs stations de mesure situées dans les alluvions de l'Alzette (Fentange, Hunsdorf, Steinsel, Mersch). La classification a été réalisée sur base des observations piézométriques quotidiennes réalisées entre 2001 et 2010 (Figure 3.4.1.).

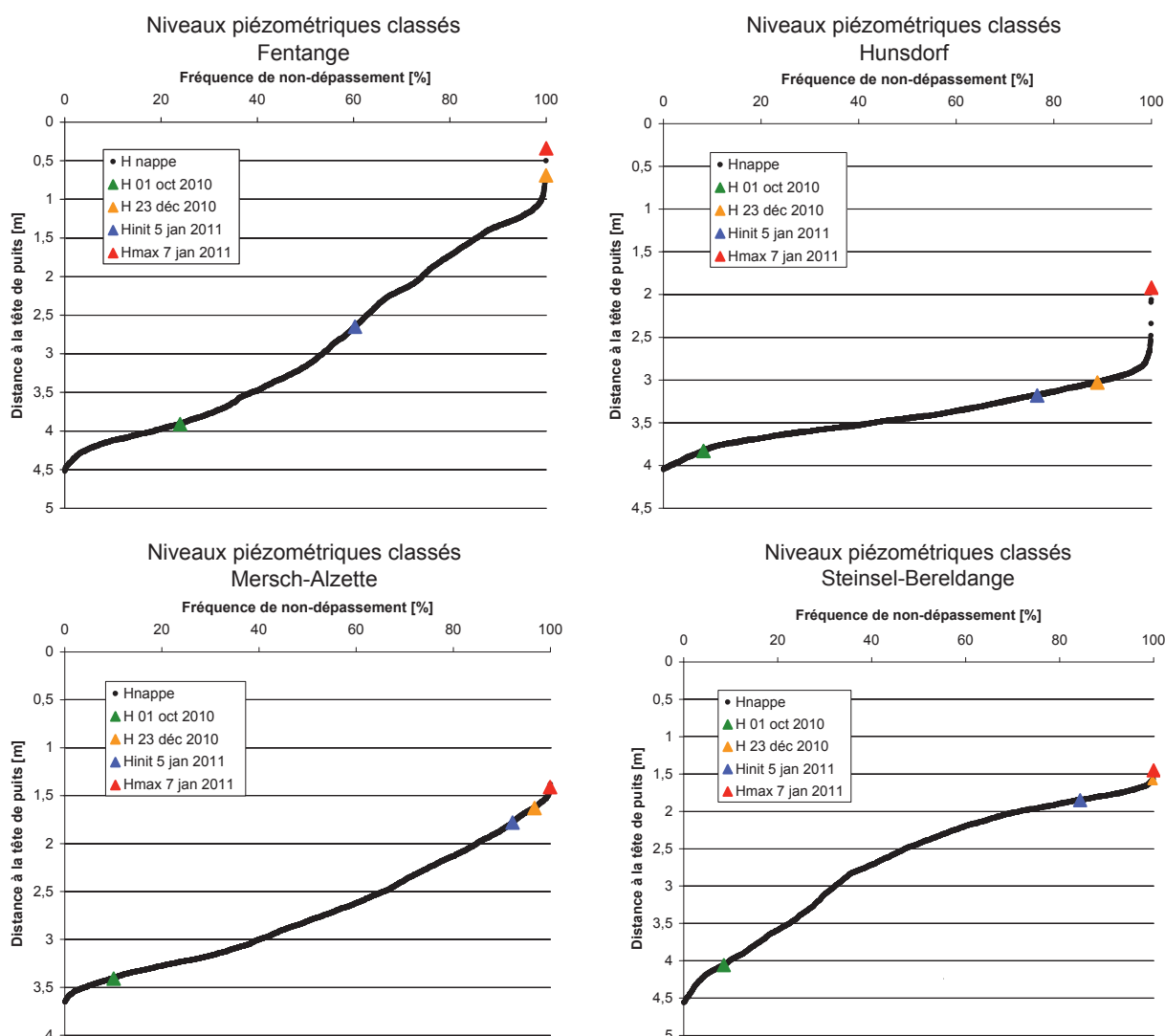


Figure 3.5.1. Courbes de niveaux piézométriques classés (Fentange, Hunsdorf, Steinsel, Mersch)

Pour l'hiver 2010-2011, les niveaux piézométriques relevés aux dates suivantes ont été rajoutées à des fins de comparaison : 1er octobre 2010 (début du semestre hivernal), 23 décembre 2010 (date pivot déterminée sur base des courbes double-cumuls entre précipitations et débits), 5 janvier 2011 (début de l'épisode de fort redoux et de la fonte du manteau neigeux), 7 janvier (inondations généralisées)).

L'analyse des courbes de niveaux piézométriques classés révèle que la nappe alluviale de l'Alzette était proche de la résurgence dès le 23 décembre – date à laquelle les courbes double-cumuls indiquaient également une accélération très nette dans la transformation précipitations-débit dans la plupart des bassins-versants. Juste avant le fort redoux entamé dès le 5 janvier 2011, les niveaux piézométriques avaient de nouveau légèrement diminué. La combinaison de précipitations abondantes et d'une fonte rapide d'un épais manteau neigeux a contribué à relever très sensiblement les niveaux piézométriques en quelques heures seulement – le 7 janvier 2011 la nappe alluviale de l'Alzette était en résurgence dans la plupart des sites d'observation, soulignant ainsi la saturation de l'hydrosystème.

3.6. Profils de vitesse dans la plaine alluviale de l'Alzette relevés le 7 janvier 2011

Au moment du débordement de l'Alzette dans sa plaine alluviale, le 7 janvier 2011, des mesures de vitesse ont été réalisées sur trois transects : entre Bivange et Roeser, Fentange et Alzingen, ainsi qu'au niveau du viaduc de Lorentzweiler (Figure 3.6.1.). Ces mesures serviront ultérieurement à évaluer de manière précise les débits (lit majeur et plaine alluviale), ainsi que dans les opérations de calage et de validation de modèles hydrauliques.

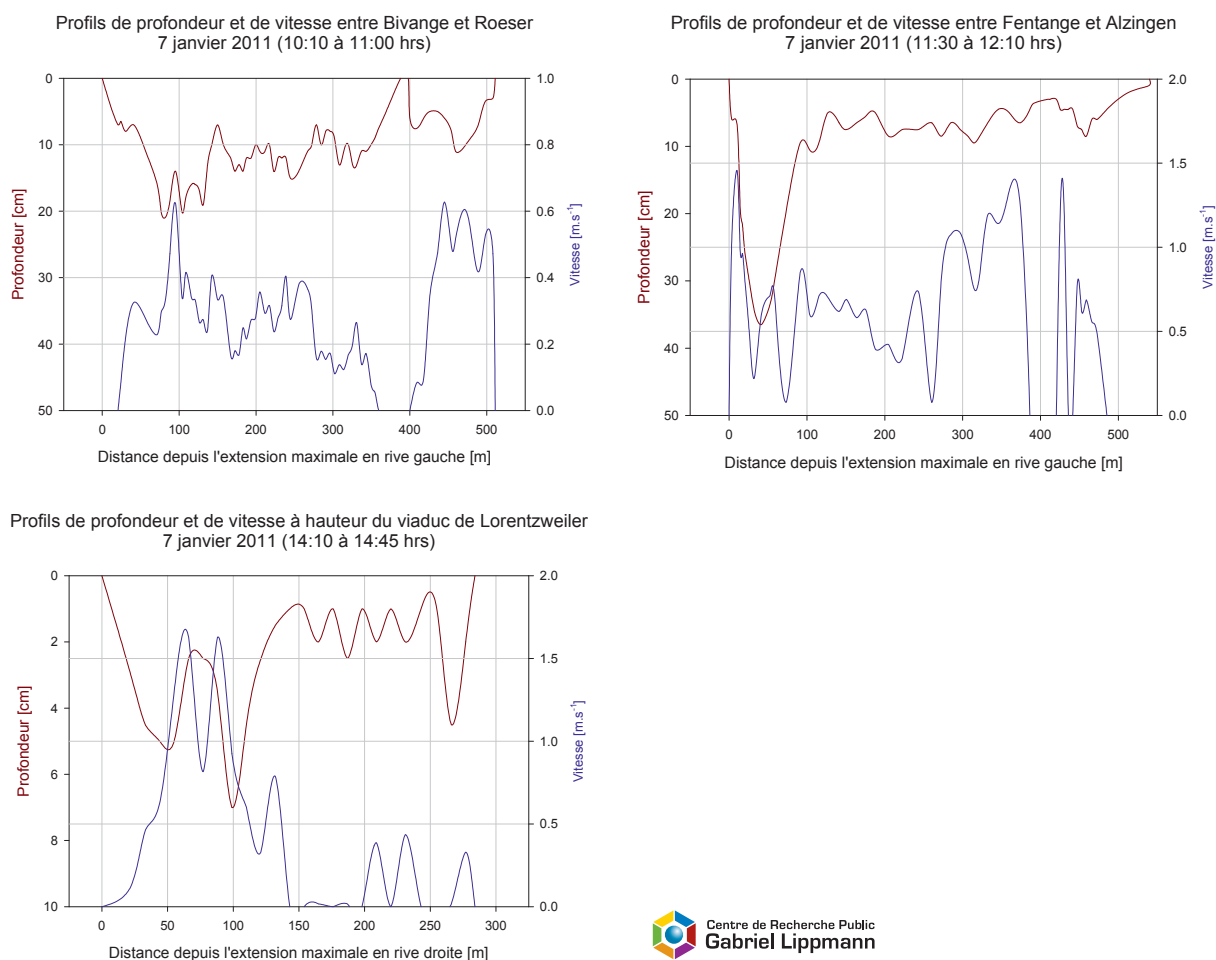


Figure 3.6.1. Profils de vitesse et de profondeur sur 3 tronçons de la plaine alluviale de l'Alzette (Bivange et Roeser, Fentange et Alzingen, viaduc de Lorentzweiler).

4. Cartographie des champs d'inondations

Le satellite canadien RADARSAT a été programmé au soir du 7 janvier 2011, afin de couvrir les vallées de l'Alzette et de la Sûre lors du survol du 8 janvier 2011 vers 18 heures (heure d'hiver). Grâce à l'image radar ainsi obtenue, une cartographie détaillée des champs d'inondation a pu être réalisée en l'espace de seulement quelques heures (Figure 4.1.).

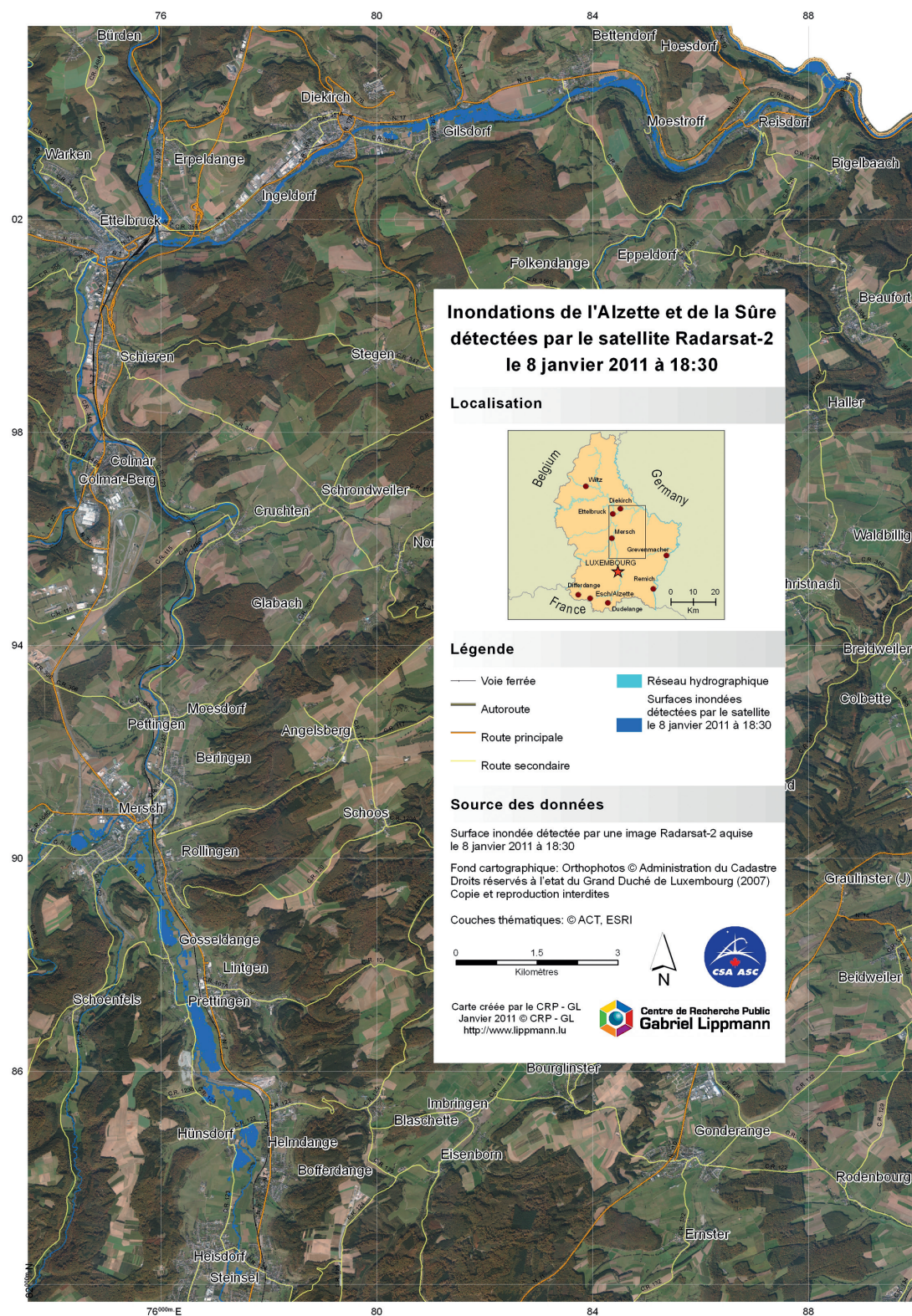


Figure 4.1. Champs d'inondation dans les plaines alluviales de l'Alzette et de la Sûre le 8 janvier 2011 à 18h30

En raison du décalage entre la commande de la prise de vue et le passage effectif du satellite au-dessus du Luxembourg, la détermination du champ d'inondation dans la plaine alluviale de l'Alzette n'a pas pu être réalisée correctement en raison du retrait des eaux déjà largement entamé au moment du survol (Figure 4.2.). Par contre, l'inondation de la plaine alluviale de la Sûre a pu être cartographiée avec précision à un instant proche du passage du niveau maximal de l'onde de crue (Figure 4.3.).

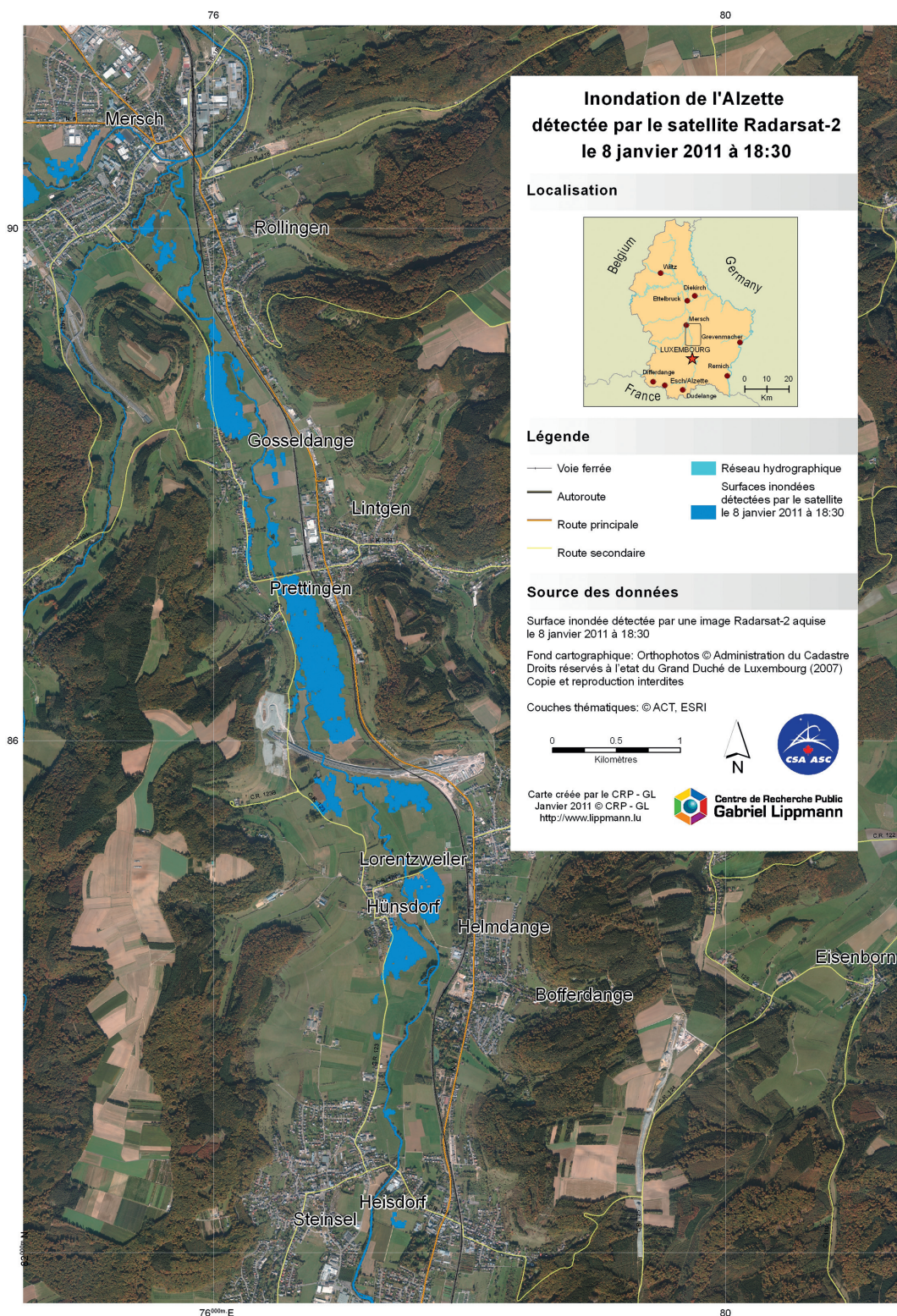


Figure 4.2. Champs d'inondation dans la plaine alluviale de l'Alzette entre Luxembourg-ville et Mersch le 8 janvier 2011 à 18hrs30

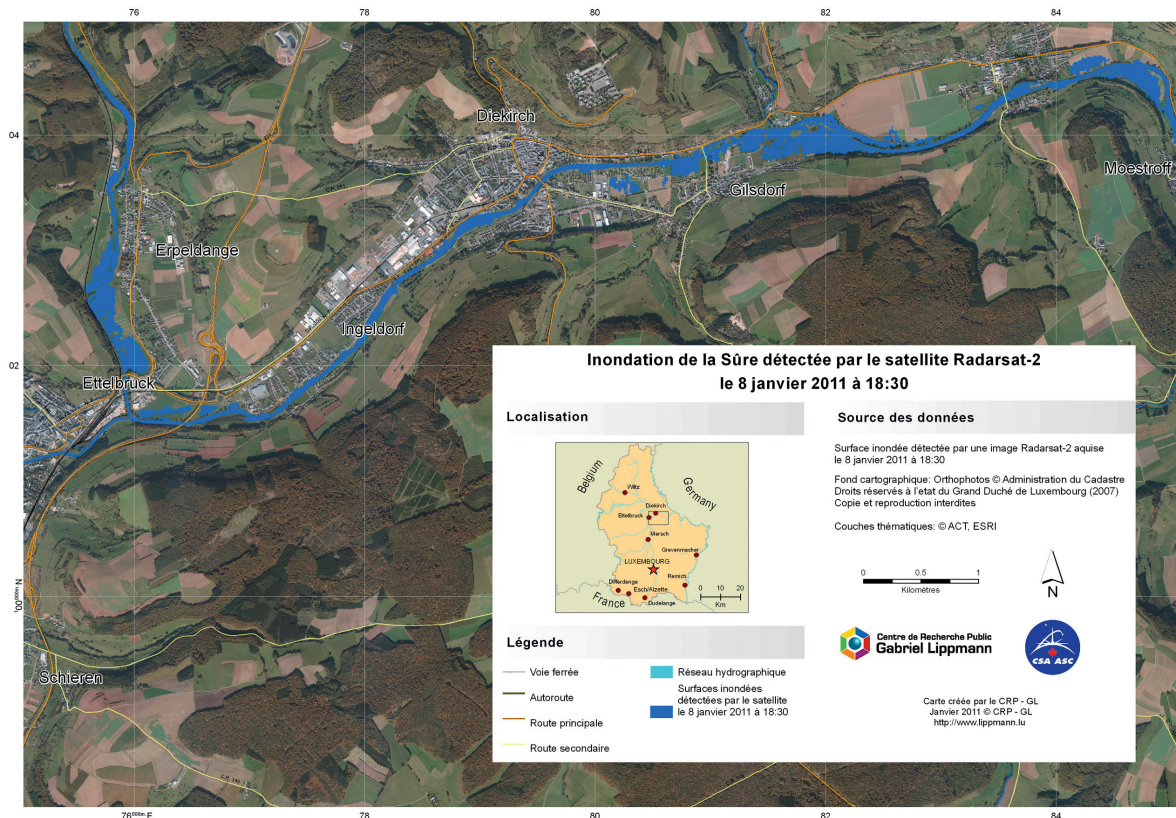


Figure 4.3. Champs d'inondation dans la plaine alluviale de la Sûre entre Ettelbruck et Moestroff le 8 janvier 2011 à 18hrs30

Les produits cartographiques ainsi réalisés permettront dans un futur proche de réaliser des opérations de calage et de validation de modèles hydrauliques dans les secteurs étudiés et à risque. Les nombreuses photos prises au sol, ainsi que les survols en hélicoptère, constituent autant de sources d'informations complémentaires pour ces opérations de modélisation. Leur but ultime est d'améliorer continuellement la qualité des simulations et prévisions réalisées au moyen des modèles.

5. Discussion et conclusions

Les observations hydro-météorologiques réalisées entre décembre 2010 et janvier 2011 ont permis une analyse détaillée des inondations du 06 au 08 janvier 2011. En premier lieu, ce sont les précipitations neigeuses importantes et exceptionnelles du mois de décembre 2010 qui ont permis de constituer des réserves en eau considérables sous forme d'un épais manteau neigeux. C'est ainsi avant tout la fonte rapide de ce couvert neigeux, combinée à des précipitations abondantes, mais non exceptionnelles, qui ont conduit aux inondations à partir du 7 janvier 2011 dans les plaines alluviales de l'Alzette et de la Sûre.

Ces inondations sont sans aucun doute les mieux documentées depuis la mise en place d'un réseau d'observation moderne au milieu des années 1990. La combinaison d'observations automatisées de niveaux limnimétriques, de conditions météorologiques, de niveaux piézométriques, de mesures débitmétriques in situ par des équipes de jaugeage, d'équivalents en eau du manteau neigeux et d'images satellite couvrant les champs d'inondation, a permis de constituer une base données dont l'exploitation dans les mois à venir permettra sans aucun doute de sensiblement améliorer notre compréhension du fonctionnement de nos hydrosystèmes dans les conditions très particulières de crues et inondations pluvio-nivales.

Les débits maximums atteints ont pu être mesurés directement par les équipes de jaugeage du CRP-Gabriel Lippmann et de l'Administration de la gestion de l'eau dans de très nombreuses stations débitmétriques. Ces mesures permettront d'améliorer très sensiblement la qualité des courbes de tarage pour les hautes eaux.

L'épisode pluvio-nival a par ailleurs également permis de démontrer très clairement la difficulté à prévoir un tel épisode de crue en raison des incertitudes en cascade inhérentes aux prévisions météorologiques, aux modélisations hydrologiques, ainsi qu'aux modélisations hydrauliques.

