

Rapport de retour d'expérience en matière de prévision des crues pour l'épisode des 14 et 15 juillet 2021 dans le DHI de la Meuse

I – Difficultés rencontrées pour la prévision des crues

L'annonce, le suivi et la prévision des crues et des inondations pour l'ensemble de la Wallonie est confiée à la Direction de la Gestion hydrologique (DGH) du Service public de Wallonie (SPW).

Pour réaliser son travail de surveillance de la situation sur les cours d'eau en Wallonie, la DGH dispose de 100 stations pluviométriques et de 150 stations hydrologiques (cf. figures n°1 et 2)

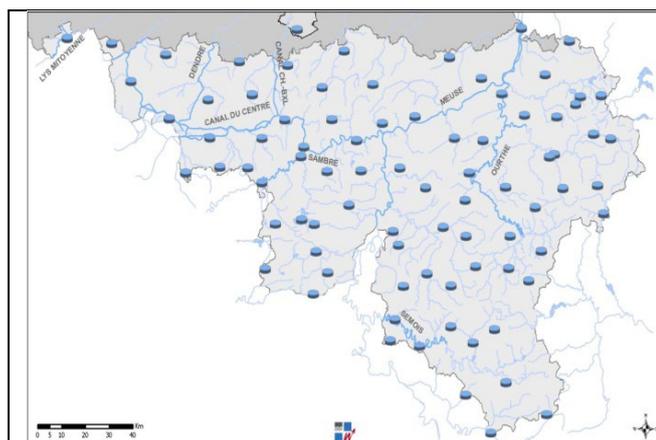


Figure 1 : localisation des stations pluviométriques de la DGH du SPW

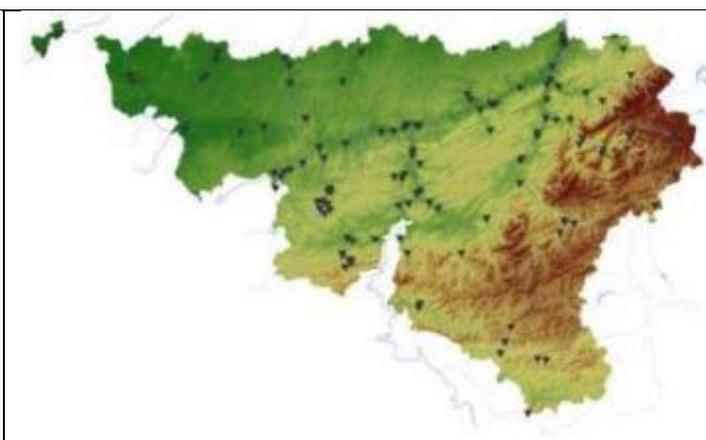


Figure 2 : localisation des stations hydrologiques de la DGH du SPW

Afin de prévoir l'évolution de cette situation, l'Institut Royal de Météorologie (IRM) met à disposition 4 fois par jour les prévisions des cumuls horaires de précipitations sur une échéance de 60 heures calculées par son modèle ALARO¹².

Des calculs automatiques de prévisions de débits sont réalisés toutes les heures avec le modèle HYDROMAX développé par l'Université Catholique de Louvain (UCL) pour 45 stations (cf. figure n°3) en utilisant d'une part les données d'observation du réseau de surveillance de la situation sur les cours d'eau du SPW et d'autre part des prévisions de précipitations fournies de manière agrégée à l'échelle de 9 bassins versants météorologiques (cf. figure n°4) fournies par l'IRM avec son modèle ALARO³.

¹ Gerard et al., 2009

² Les données brutes sont accessibles pour le grand public sous la forme d'images sur le site <https://www.meteo.be/fr/meteo/previsions/modele-alaro/precipitations>

³ Des prévisions hydrologiques manuelles complémentaires peuvent être réalisées selon les besoins en utilisant soit les informations d'alerte pluie fournies par l'IRM soit les prévisions des précipitations à très court terme (2h) selon la méthode INCA (Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis - cf. Haiden et al., 2011) développée par le service météorologique autrichien (ZAMG).

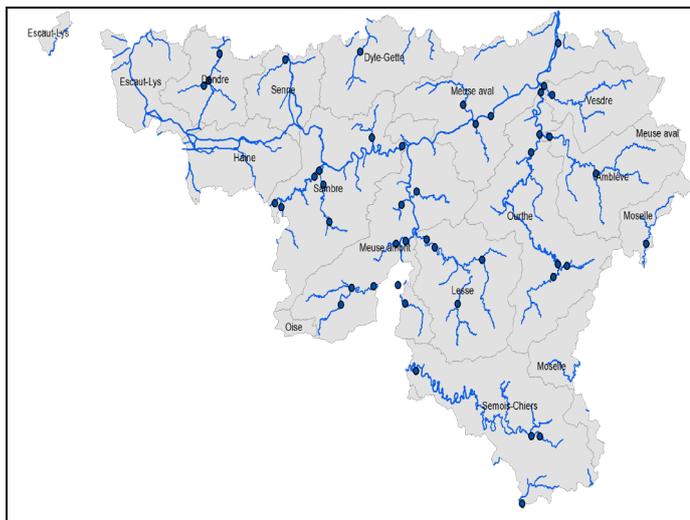


Figure 3 : stations hydrologiques disposant d'un modèle HYDROMAX de prévision des débits

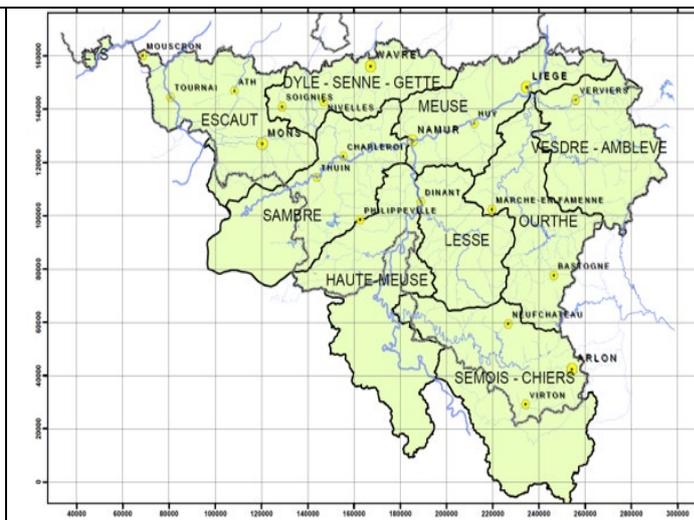


Figure 4 : bassins versants utilisés par l'IRM pour la fourniture des prévisions de précipitation

La situation est qualifiée selon les seuils suivants qui s'appliquent soit à l'échelle du cours d'eau, soit à l'échelle de sous-bassins versants :

- Niveau vert : aucun risque de crue à court terme,
- Niveau vert mais avec avertissement : pas de débordement observé mais les conditions météorologiques observées et prévues nécessitent une vigilance accrue (risque d'orages, de tempête, de fonte rapide de neige...).
- Niveau jaune (pré-alerte) : un (ou plusieurs) cours d'eau d'un bassin est (sont) en condition de déborder et de provoquer des inondations localisées et sans gravité.
- Niveau rouge (alerte) : un (ou plusieurs) cours d'eau d'un bassin est (sont) en condition de déborder et provoquer des inondations importantes avec un impact sur les infrastructures et les riverains.

Les franchissements des seuils de pré-alerte et d'alerte sont communiqués au Centre régional de Crise wallon, qui déclenche et coordonne les plans d'urgence, ainsi qu'au grand public, via le site internet infocruce.wallonie.be.

La prévision des précipitations lors d'un évènement météorologique de type « goutte froide » qui a touché le bassin de la Meuse du 13 au 15 juillet 2021 est particulièrement difficile en raison notamment du caractère très erratique de la trajectoire de la dépression pluvieuse à l'origine de la crue. Ces précipitations peuvent dans certains cas avoir un mouvement rétrograde (i.e. se déplacer vers l'ouest dans la direction opposée au flux directeur dominant) et dans d'autres cas rester plusieurs jours au-dessus d'une région donnée.

La comparaison des prévisions sur 72 h issues des modèles ARPEG, ECMWF et GFS avec les pluies observées en Wallonie permet de constater l'extrême concentration dans l'espace de l'évènement météorologique survenu entre le 12 et le 16 juillet 2021 d'une part (cf. figure n°5) et montre la difficulté rencontrée pour localiser le déplacement des précipitations d'une part et les quantités apportées d'autre part (cf. figure 6).

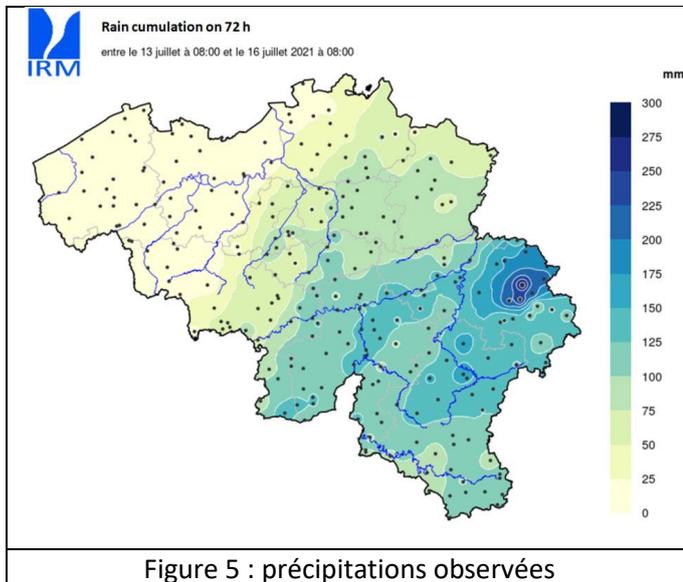


Figure 5 : précipitations observées

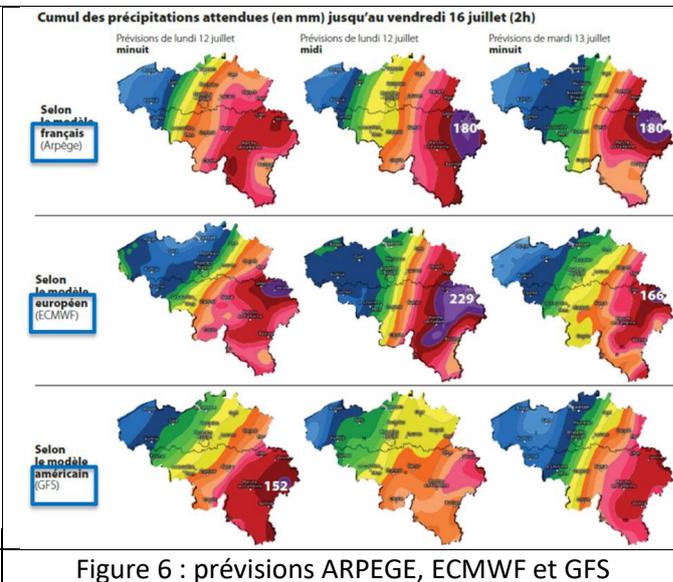


Figure 6 : prévisions ARPEGE, ECMWF et GFS

C'est ainsi que l'intensité et le cumul des précipitations calculées par ALARO et agrégées par l'IRM sur le bassin versant Vesdre-Amblève ont été très inférieures à ce qui a été observé en amont de la station de Chaudfontaine sur la Vesdre ; c'est ce qui explique les écarts constatés entre les débits mesurés et les résultats de calcul du modèle HYDROMAX à cette station. L'alerte n'a pu être lancée qu'aux vues des simulations hydrologiques du 14 juillet 2021 à 1 heure, après la 1^{ère} salve de précipitations qui s'est abattue sur le bassin pendant la nuit (cf. figure n°7).

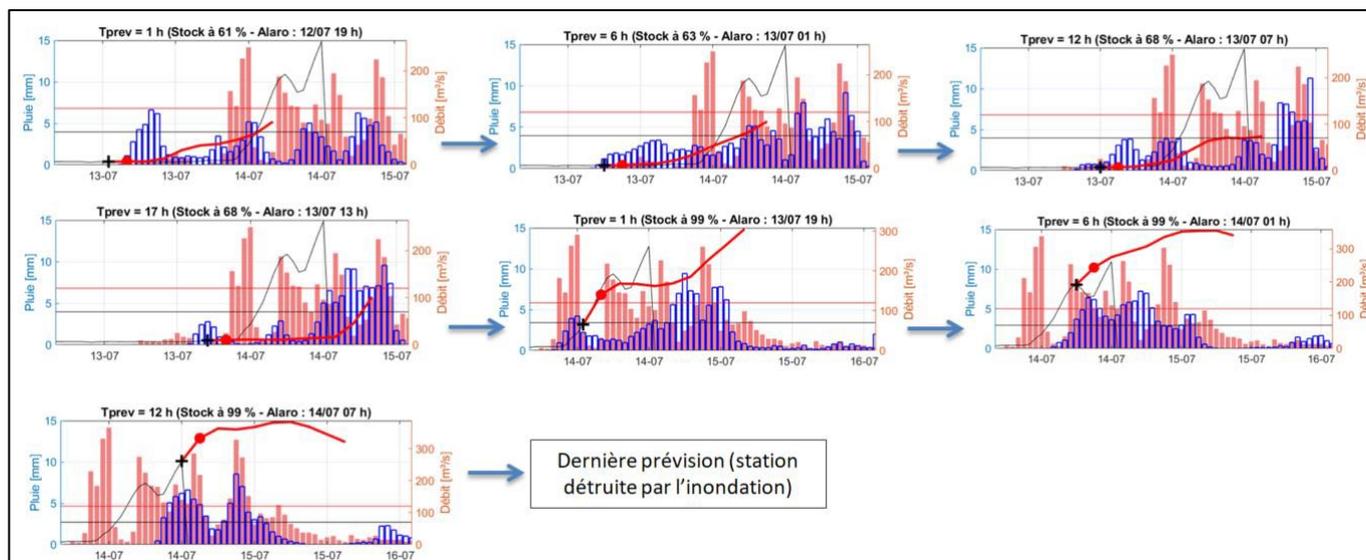


Figure n°7 : calculs de l'évolution des débits réalisés avec HYDROMAX (courbe en trait rouge épais) sur la base des prévisions de précipitations fournies (histogrammes bleus). Les précipitations observées sont représentées par les histogrammes rouges et les débits mesurés par la courbe en gris.

Le message d'alerte envoyé par EFAS⁴ le 12 juillet 2021 à 12h (cf. figure n°8) aurait-il permis de prévoir la crue extrême sur le bassin de la Vesdre et de lancer l'alerte plus tôt pour permettre d'évacuer les riverains ?

La réponse est négative. EFAS est un système d'alerte précoce et non un système de prévision avancé.

⁴ European Flood Awareness System - <https://www.efas.eu/en>. EFAS est un système d'alerte précoce, conçu pour faire prendre conscience aux services hydrologiques nationaux ("awareness") que quelque chose d'extrême *pourrait* se produire. L'EFAS n'a pas pour but d'alerter le public ou de faire des prévisions de débit détaillées.

Si la probabilité calculée par EFAS à partir des simulations hydrologiques basées sur des prévisions météorologiques d'ensemble⁵ prévoyait un dépassement de la crue quinquennale (HQ5) à partir du 14 juillet dans 70 à 90 % des cas, il convient de constater que cette valeur seuil utilisée pour lancer l'alerte correspond à une crue pour laquelle on observe des 1^{ers} débordements sans gravité pour ce type de cours d'eau (cf. seuil de pré-alerte utilisée en Wallonie) alors que l'événement observé correspond à une crue extrême soit à un temps de retour bien supérieur à 100 ans.

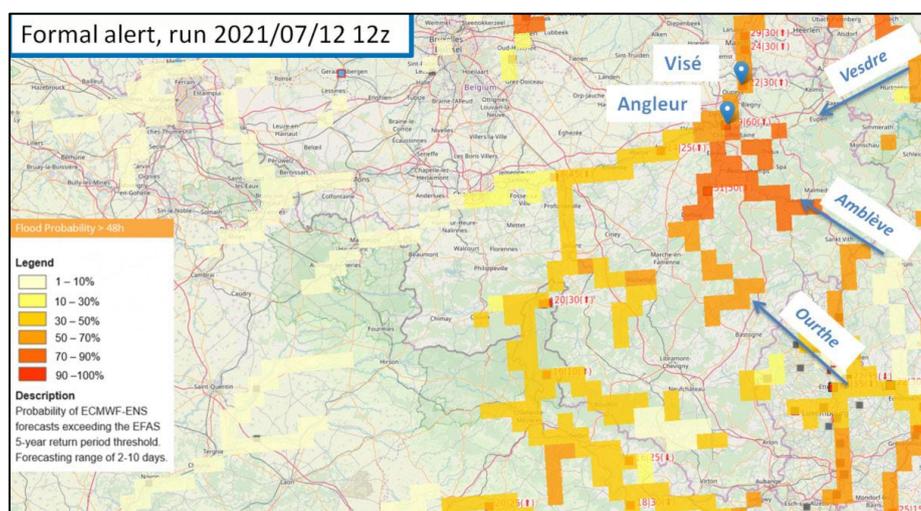


Figure n°8 : message d'alerte envoyé par EFAS au SPW le 12/07/2021

L'utilisation des données mises à disposition par EFAS lors de l'envoi de ses alertes aurait-elle permis de mieux analyser la situation ?

La réponse est également négative car l'incertitude des prévisions sur la station d'Angleur sur l'Ourthe était très grande (cf. figure n°9).

Les simulations hydrologiques réalisées le 12/07 à 0 h avec les résultats des modèles météorologiques déterministes ECMWF et COSMO prévoyaient pour le 15 juillet un débit maximal compris entre 600 et 1.000 m³/s alors que 75 % des résultats issus des prévisions d'ensemble étaient inférieurs à 700 m³/s.

Si les simulations hydrologiques réalisées le 12/07 à midi avec les résultats des modèles météorologiques déterministes ECMWF et COSMO prévoyaient à partir du 14 juillet un débit maximal compris entre 1.100 à 1.200 m³/s et s'approchaient de la valeur du débit de pointe reconstituée estimée à 1.400 m³/s⁶, il convient néanmoins de constater que :

- 75 % des résultats issus des prévisions d'ensemble étaient inférieurs à 700 m³/s,
- les résultats issus des modèles météorologiques déterministes ECMWF et COSMO correspondaient à la plus forte valeur de la distribution des calculs issus des prévisions d'ensemble soit à une probabilité d'atteinte comprise entre 2 % et 5 %.

⁵ Les prévisions correspondent à 51 scénarios de calculs pour l'ensemble météorologique ECMWF et à 20 scénarios de calculs pour l'ensemble météorologique COSMO-LEPS. Pour que les résultats soient disponibles 4 fois par jour, ces prévisions d'ensemble sont réalisées à partir de conditions initiales légèrement différentes des observations météorologiques disponibles et en utilisant un modèle météorologique moins précis que les modèles ECMWF et COSMO dont la taille des mailles est environ deux fois plus petite. La dispersion des résultats des scénarios de calcul permet de quantifier une marge d'erreur statistique sur la prévision météorologique.

⁶ L'estimation de la valeur du débit de pointe qui a été reconstituée pour la station qui a été détruite pendant la crue est représentée par une étoile

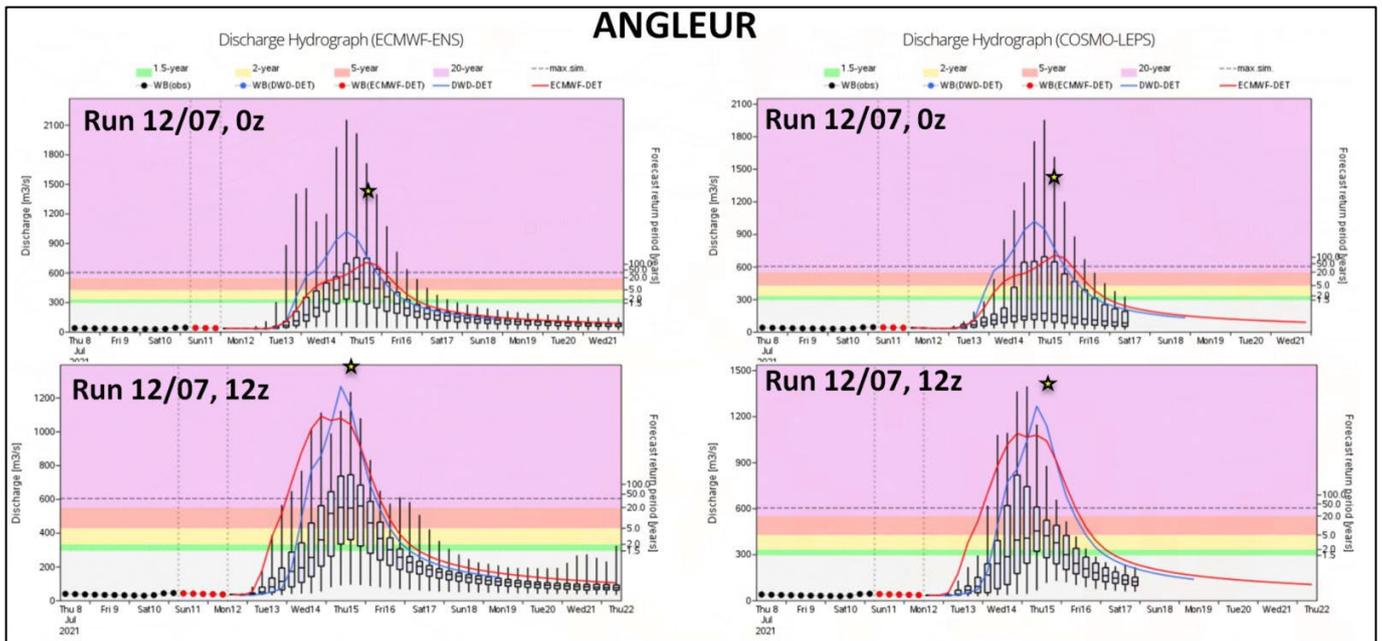


Figure n°9 : prévisions hydrologiques mises à disposition par EFAS le 12 juillet à Angleur sur l'Ourthe⁷. Les calculs réalisés avec l'ensemble météorologique ECMWF sont à gauche, ceux effectués avec l'ensemble COSMO-LEPS sont à droite.

L'analyse de la situation rencontrée aux Pays-Bas confirme le caractère imprévisible de ce qui s'est passé.

Le 11 juillet, le Rijkswaterstaat a reçu une notification d'EFAS.

10 % des prévisions météorologiques d'ensemble du ECWMF le 12 juillet à midi prévoient un cumul de précipitations supérieur à 50 mm entre le 13 et le 17 juillet pour le bassin de la Meuse. Sur la base des prévisions hydrologiques effectuées avec ces prévisions d'ensemble, EFAS a émis une notification pour un vaste territoire comprenant la partie vosgienne de la Moselle et de la Meurthe, l'Ourthe, la Rur et la Demer. (cf. figure n°9). La probabilité supérieure de dépasser la HQ20 sur la Rur était estimée à 41 %. Cette notification de l'EFAS a permis au WMCN du Rijkswaterstaat de préparer l'organisation à temps pour une situation de crue exceptionnelle.

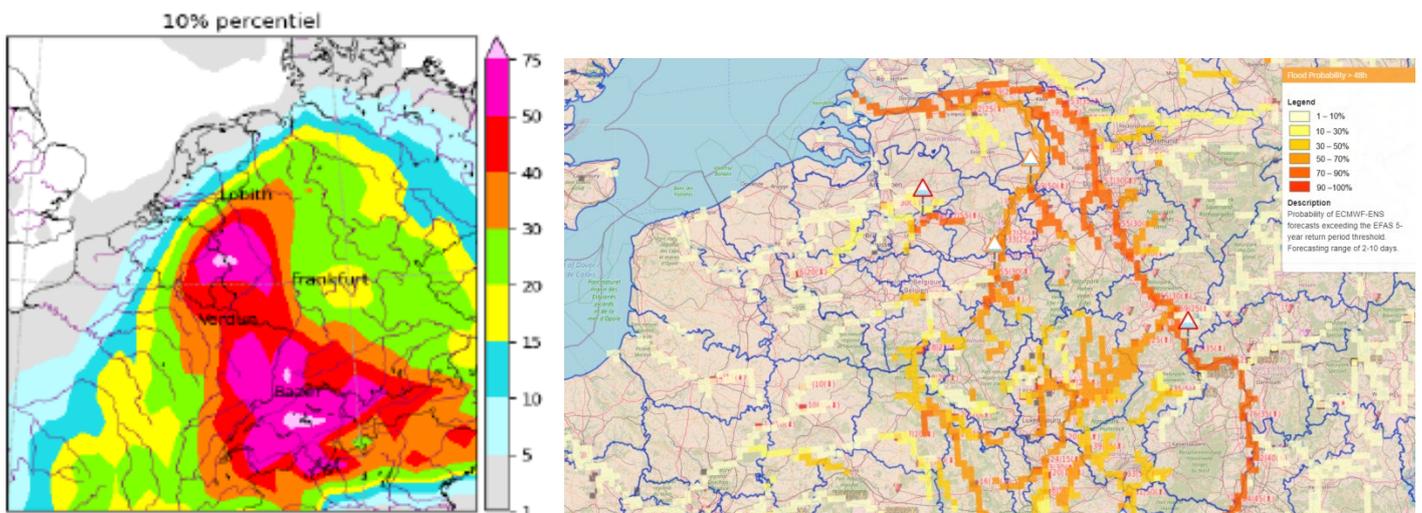


Figure n°9 : percentile 10 % des cumuls des précipitations prévus le 12.07.21 midi entre le 13 et le 17 juillet (à gauche) - Probabilités de dépassement de la HQ5 calculées par EFAS le 12/07/2021 à midi (à droite)

⁷ La dispersion des résultats issus des prévisions météorologiques d'ensemble est représentée sous la forme d'une boîte à moustache avec indication de la médiane, du 1^{er} et du 3^{ème} quartile. Les résultats issus des modèles météorologiques déterministes sont en rouge (ECMWF) et en bleu (COSMO).

Le WMCN du Rijkswaterstaat prévoyait à ce moment un débit de pointe à la station de Saint Pieter sur la Meuse compris entre 700 et 900 m³/s aux alentours des 15 et 16 juillet. Les calculs d'ensemble donnent 10 % de chance de dépasser le seuil d'alerte de 1.500 m³/s (figure n°10).

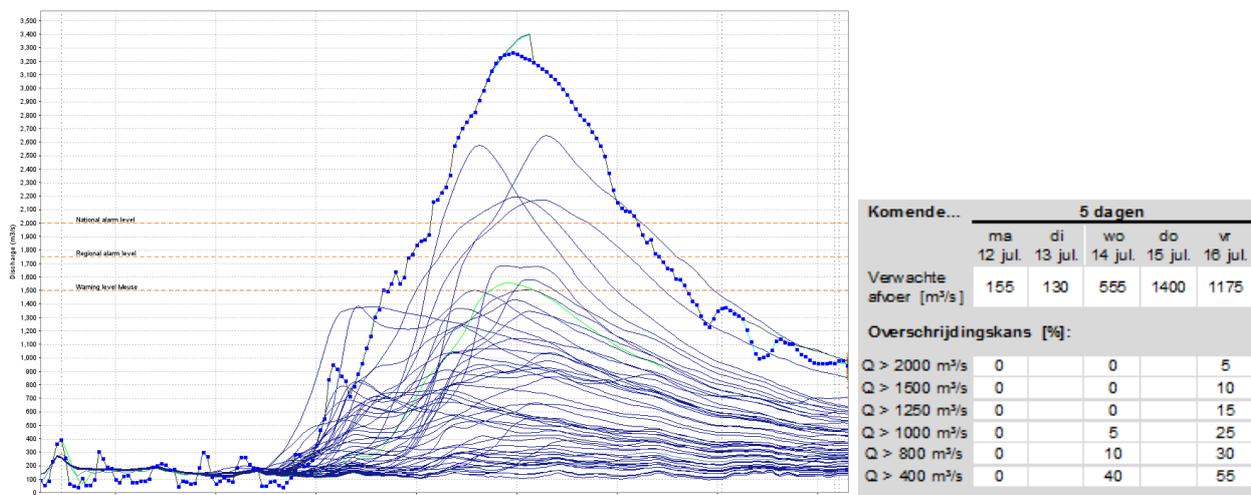


Figure 10 : résultats des prévisions d'ensemble du 12.07.21 à midi pour la station de Sint Pieter

Le 13 juillet, 90 % des prévisions hydrologiques d'ensemble du WMCN du Rijkswaterstaat donnaient un débit de pointe compris entre 1.300 et 2.500 m³/s pour le 15 juillet. Une simulation prévoyait un débit de pointe 2.750 m³/s. Face à cette situation, le WMCN a consulté le KNMI qui lui fournit les prévisions météorologiques. Après cet échange, il fut décidé de maintenir en vert le bulletin de crue⁸ pour la Meuse (cf. figure n°11) car le débit mesuré, sur lequel le code couleur est basé, était inférieur au seuil de 1250 m³/s à ce moment-là. Le même avis de crue indiquait un débit de pointe attendu de 2750 m³/s.

Watermanagementcentrum Nederland
 Team Expertise Maas (TEM)
 WMCN Rivieren

woensdag 14 juli 2021 / nummer 501

Statusbericht Maas (afvoerverwachting St. Pieter)

	Afvoer [m ³ /s]	Tijdstip
Huidige (gemeten) afvoer St. Pieter	875 m ³ /s	wo 14-07-2021 11:00
Verwachte afvoer St. Pieter (+12 uur)	1450 m ³ /s	do 15-07-2021 00:00
Verwachte afvoer St. Pieter (+24 uur)	2475 m ³ /s	do 15-07-2021 12:00
Verwachte afvoer St. Pieter (+48 uur)	2400 m ³ /s	vr 16-07-2021 12:00
Maximum verwachte afvoer en waterstand St. Pieter (binnen 48 uur)	2750 m ³ /s	do 15-07-2021 20:00
Onzekerheid verwachte maximale afvoer St. Pieter (binnen 48uur) (90% interval)	1300 - 2500 m ³ /s	do 15 juli 12:00 - vr 16 juli 12:00

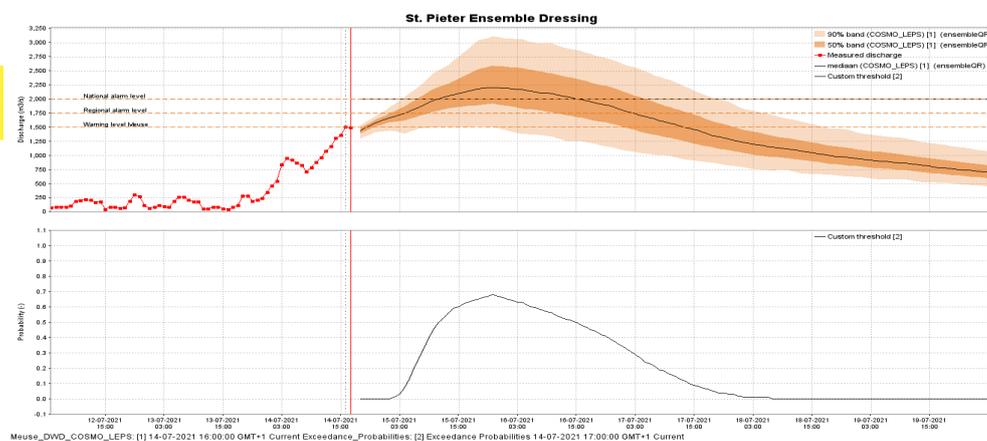


Figure 11 : bulletin de crue du 14.07.21 (à gauche) – simulations hydrologiques du 14.07.21 avec l'ensemble météorologique COSMO-LEPS (à droite)

Les modèles deviennent plus univoques le 14 juillet : 70 % des simulations hydrologiques réalisées avec l'ensemble météorologique COSMO dépassaient le seuil d'alarme national de 2.000 m³/s. La Meuse fut placée en code jaune parce que le débit mesuré était supérieur au seuil de 1250 m³/s, avec un débit maximal prévu de 2.575 m³/s. Pour la 1^{ère} fois un certain nombre de prévisions étaient autour de 3.000 m³/s (cf. figure 11).

⁸ Statusbericht

La Meuse est passée en code rouge à partir du 15 juillet (débit mesuré supérieur au seuil de 2.600 m³/s). On constate que l'écart entre les mesures de hauteur et les prévisions à 48 heures calculées par le modèle hydraulique SOBEK à partir de Saint Pieter dépasse 25 cm pour seulement 5 stations sur 24 (cf. figure n°12).

Gemeten topstand [m+NAP] MET				Verschil in topstand		
				Aantal	gem.	gem. abs
Sint Pieter	15-7-2021 22:10	48.10	2	0.025	0.025	
Borgharen dorp	16-7-2021 00:20	45.23	2	-0.030	0.200	
Elsloo	16-7-2021 01:30	40.95	2	-0.275	0.275	
Rotem	16-7-2021 09:10	32.42	3	0.147	0.227	
Maaseik	16-7-2021 10:10	30.17	3	-0.087	0.087	
Stevensweert	16-7-2021 14:50	25.57	4	0.193	0.228	
Heel boven	16-7-2021 14:40	22.78	4	0.045	0.075	
Linne beneden	17-7-2021 00:10	21.88	5	-0.150	0.198	
Roermond	17-7-2021 05:10	20.68	5	0.130	0.142	
Heel beneden	17-7-2021 10:30	20.49	6	0.122	0.175	
Neer	17-7-2021 07:30	20.10	6	0.375	0.375	
Belfeld beneden	17-7-2021 13:30	18.45	6	0.275	0.275	
Venlo	17-7-2021 14:40	18.01	6	0.073	0.110	
Well	17-7-2021 22:20	15.48	6	-0.163	0.110	
Sambeek ben.	18-7-2021 10:30	13.33	6	-0.013	0.103	
Gennep	18-7-2021 16:30	12.34	6	0.077	0.103	
Mook	18-7-2021 20:00	10.78	7	0.277	0.277	
Grave beneden	19-7-2021 01:30	9.47	7	0.244	0.256	
Megen	19-7-2021 06:30	7.63	6	0.012	0.032	
Lith boven	19-7-2021 14:00	5.97	6	-0.112	0.105	
Lith dorp	19-7-2021 16:00	5.79	7	-0.056	0.059	
Hedel	19-7-2021 21:00	4.19	6	-0.080	0.087	
Heesbeen	20-7-2021 04:30	3.27	6	-0.220	0.220	
Keizersveer	20-7-2021 15:40	1.54	5	-0.030	0.034	

Figure n°12 : Ecart entre les mesures et prévisions de hauteur à partir de Sint Pieter

* _ * _ *

Synthèse :

Des moyens importants sont consacrés dans les Etats / Régions de la Meuse pour l'hydrométrie et la prévision des crues (cf. annexe 7 de la partie faîtière du PGRI pour le 2nd cycle de mise en œuvre de la Directive Inondation).

Les centres de prévision des crues dans le DHI de la Meuse ont une double mission : ils doivent d'une part estimer les débits puis les hauteurs maximales attendues à partir des prévisions de précipitation et d'autre part décider du niveau d'alerte à déclencher sur les cours d'eau dont ils sont responsables.

La prévision des crues a été essentiellement organisée en s'appuyant sur l'expérience tirée des crues passées qui survenaient entre la fin de l'automne et le début du printemps (cf. annexe 5 de la partie faîtière du PGRI pour le 2nd cycle de mise en œuvre de la Directive Inondation) et avec une augmentation progressive des débits ce qui permet d'informer suffisamment tôt les autorités locales pour mettre en sécurité les personnes et les biens potentiellement touchés.

Il a été très difficile de quantifier et de localiser dans l'espace et le temps les précipitations que la dépression pluvieuse de type goutte froide était susceptible d'apporter et qui a touché le DHI en provoquant des crues exceptionnelles les 14 et 15 juillet, qui ont touché les affluents en rive droite de la Meuse à l'aval de Chooz et la Meuse elle-même en aval de sa confluence avec l'Ourthe.

Ce type d'événement de précipitations estivales très intenses est malheureusement susceptible de se reproduire avec le réchauffement climatique (perturbations dans la circulation des vents de haute altitude qui transporte les masses nuageuses et augmentation de la quantité d'eau qui y est stockée).

Dans ce contexte, les résultats issus des prévisions d'ensemble telles que celles réalisées par EFAS sont des éléments d'informations complémentaires aux calculs effectués par les centres de prévision des crues du DHI de la Meuse sur la base des bulletins nationaux de précipitation pour décider des niveaux d'alerte à appliquer sur leur territoire respectif⁹.

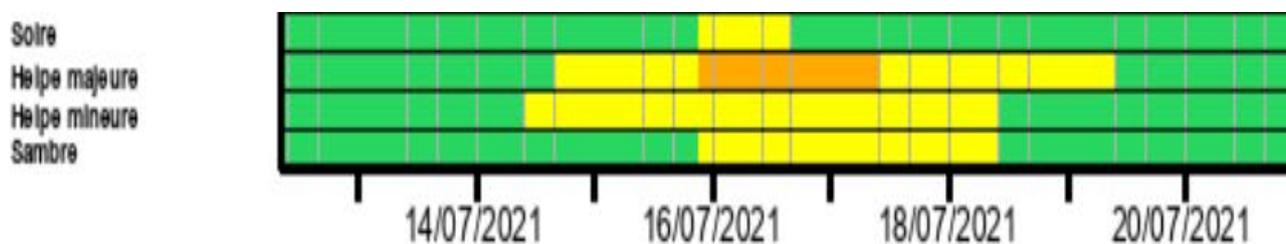
Il a donc semblé important et utile lors du séminaire des centres de prévision des crues des 5 et 6 septembre 2022 d'organiser une session de formation sur le dispositif EFAS avec l'appui du WMCN du Rijkswaterstaat qui assure la diffusion des informations disponibles dans le DHI de la Meuse.

Cette formation organisée a pour objectif de permettre de détecter plus rapidement à partir des informations mises à disposition par EFAS les cours d'eau où ce genre de situation peut se produire alors que les calculs faits par les services de prévision des crues avec les prévisions météorologiques officielles nationales sont plus faibles. De cette façon ils pourraient ensuite appeler leur service national de météorologie pour décider notamment avec lui des hypothèses de pluie à utiliser pour les niveaux d'alerte.

⁹ <https://www.efas.eu/en/news/faq-efas-and-recent-flood-events> - « EFAS notifications are not aimed at warning the public as the notifications contain expert information that should be combined with the relevant available national and local information to provide the best possible basis for decision making. EFAS notifications aim at providing complementary forecast information. The relevant national authority may or may not use the provided forecast information, and is likely to also take into account other information in deciding on any measures to be taken. »

II – Difficultés rencontrées pour l'estimation des débits observés

Les crues survenues dans la partie française des bassins de la Sambre et de la Meuse ont été significativement inférieures à ce qui s'est produit en aval (cf. figure n°13).



Jour de Référence	Meuse amont et sammielloise	Meuse couloir meusien	Meuse plaine ardennaise	Meuse frontalière - Semoy	Chiers amont	Chiers aval
18/07/2021	2	1	2	2	1	2
	2	1	2	2	1	3
17/07/2021	2	1	2	2	1	3
	2	1	2	2	1	3
16/07/2021	2	1	2	2	1	3
	2	2	2	2	2	3
15/07/2021	2	2	2	2	3	3
	2	2	2	2	3	3
	2	1	2	2	3	3
14/07/2021	1	1	2	2	3	2
	1	1	2	2	2	2
	1	1	1	1	2	2
13/07/2021	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1

Figure n°13 : niveau de vigilance sur les tronçons de cours d'eau des parties françaises du bassin de la Sambre (en haut) et de la Meuse (en bas)

La comparaison des mesures de débit effectuées lors de cet épisode avec les valeurs de débit déduites à partir des hauteurs mesurées en appliquant la courbe de tarage en vigueur a permis de mettre en évidence des différences significatives (de l'ordre de 30 %) à certaines stations en raison de l'influence de la végétation présente à cette époque de l'année dans le lit mineur et le lit majeur (cf. tableaux n°1 et 2 et figure n°14).

Station	Date	Hauteur (m)	Phase crue	Débit mesuré (m³/s)	Débit déduit de la courbe de tarage (m³/s)	Ecart $Q_{\text{mesuré}}/Q_{\text{tarage}}$
Liessies (Helpe majeure)	16/07 – 9h30	3,05	Montée	38,9	54,2	-28,23 %
	16/07 – 13h45	3,07	Juste avant le pic (2cm)	41,6	57,5	-27,65 %

Cours d'eau	Station	Date et heure du pic de crue (heure locale)	Hauteur max atteinte retenue (en cm)	Q max atteint en m³/s (brut – CT sans correctif)	Q max atteint retenu en m³/s (CT avec correctif herbe)	Temps de retour de la crue en débit (d'après calcul Hydro 2 – Loi de Gumbel)	Valeur dépassée (années)
Chiers	LONGLAVILLE	15/07/2021 – 06:05	341	98	88	> vicennale humide	0/21
Chiers	LONGWY	15/07/2021 – 06:55	382	98	88	> vicennale humide	0/20
Chiers	MONTIGNY	15/07/2021 – 11:40	246	95	82	décennale humide	4/48
Crusnes	PIERREPONT	15/07/2021 – 02:40	366	42	34	> vicennale humide	1/38
Ton	ECOUVIEZ	15/07/2021 – 21:20	400	48	39	> vicennale humide	1/36
Othain	OTHE	15/07/2021 – 18:35	314	44	35	entre quinquennale et décennale humide	6/45
Ipison	VITTARVILLE	15/07/2021 – 12:30	284	70	48	/	/
Ipison	HAN LES JUVIGNY	15/07/2021 – 19:40	349	142	92	décennale humide	4/51
Chiers	CHAUVENCY	16/07/2021 – 06:50	327	399	312	> vicennale humide	2/43
Chiers	CARIGNAN	17/07/2021 – 01:15	401	292	194	> vicennale humide	2/51
Chiers	BREVILLY	17/07/2021 – 12:30	448	337	262	> vicennale humide	0/12

Tableaux n°1 et 2 : écarts constatés entre les mesures de débit par rapport aux valeurs déduites de la courbe de tarage pour la station de Liessies (en haut) et pour la Chiers et ses affluents (en bas)

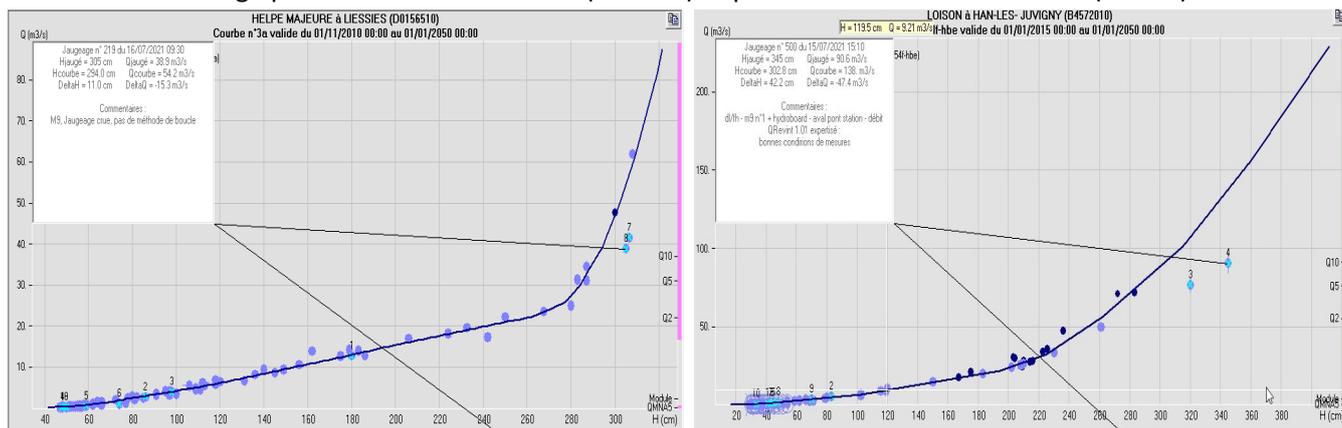


Figure n°14 : écart des couples (hauteur mesuré, débit mesuré) par rapport à la courbe de tarage en vigueur à la station de Liessies (à gauche) et de Han-les-Juvigny (à droite)

Comme la très grande majorité des valeurs de débit utilisées par les services de crue et échangées au sein du DHI de la Meuse dans le cadre de l'accord multilatéral du 19 juillet 2017 sont calculées à partir des courbes de tarage en vigueur, il est apparu nécessaire lors du séminaire des centres de prévision des crues des 5 et 6 septembre 2022 de réaliser des échanges d'expérience entre les services chargés de l'hydrométrie sur les méthodes et outils utilisés pour mesurer les débits d'une part et construire les courbes de tarage d'autre part.