
SmageAa

Etude d'optimisation des dispositifs de prévention des inondations sur le bassin versant de l'Aa – Rapport de phase 2 : analyse des solutions prônées par les habitants

Avril 2026 - v1



Contact : m.lootens@v2r.fr

☎ : 03 21 10 42 42

✉ : contact@v2r.fr

groupei2d.com

En groupement avec :



Sommaire

1.	CONTEXTE.....	9
1.1	Général.....	9
1.2	Objectifs de la Phase 2.....	10
1.3	Précision sémantique sur <i>Le modèle hydraulique</i>	10
1.4	Crues considérées dans l'analyse	10
2.	Influence des marées sur les écoulements de l'Aa en crue	11
2.1	Contexte.....	11
2.2	Analyse.....	12
2.3	Conclusion	12
3.	Effets potentiels d'un recalibrage total de l'Aa pour qu'il n'y ait plus de débordement.....	15
3.1	Contexte.....	15
3.2	Analyse.....	15
3.3	Conclusion	24
4.	Effets potentiels d'un curage de l'Aa	25
4.1	Contexte.....	25
4.2	Analyse technique.....	25
4.3	Analyse réglementaire	27
4.4	Modélisation hydraulique de principe.....	28
4.5	Documentation utile.....	31
4.6	Conclusion	35
5.	Restauration des anciens moulins et exploitation des moulins actuels pour ralentir les crues 37	
5.1	Principe de l'aménagement.....	37
5.2	Méthode d'analyse	37
5.3	Résultats de l'analyse.....	38
5.4	Conclusion	53
6.	Temps de propagation de l'onde de crue entre l'amont et l'aval.....	54
6.1	Contexte.....	54
6.2	La rugosité : un critère influent sur la vitesse d'écoulement en lit mineur	54
6.3	Analyse par les mesures des crues.....	57
2	Analyse par la simulation hydraulique.....	61
3	Conclusion	61
7.	Quel volume d'eau a été infiltré et ruisselé lors des dernières grandes crues de l'Aa ?.....	62
7.1	Contexte.....	62
7.2	Analyse.....	63
7.2.1	CRUE DU 26 FEVRIER AU 1 ^{ER} MARS 2002 :	63
7.2.2	CRUE DES 6 ET 11 NOVEMBRE 2023 :	69
7.2.3	CRUE DU 3 AU 4 JANVIER 2024 :	75
7.3	Conclusion	81

8.	Les ouvrages d'expansion de crue peuvent-ils avoir aussi une fonction de « réserve d'eau » en cas de sécheresse ?	83
8.1	Contexte.....	83
8.2	Analyse technique.....	84
8.3	Conclusion	91
9.	Quelle importance peut avoir le niveau de saturation des sols sur les crues ?.....	92
9.1	Contexte.....	92
9.2	Analyse.....	94
9.3	Conclusion	113
10.	Comment fonctionne le système d'endiguement de protection de Blendecques ?	115
10.1	Contexte.....	115
10.2	Analyse.....	117
10.3	Conclusion	119
11.	Quelles sont les conditions d'évacuation à la mer ?.....	120
11.1	Contexte.....	120
11.2	Analyse.....	124
11.3	Conclusion	124

Table des illustrations

Figure 1-1	Périmètre de l'étude.....	9
Figure 2-1	Bassin versant de l'Aa et du Delta de l'Aa.....	11
Figure 2-2	Résultat de simulation hydraulique d'influence hydraulique aval par SOGREAH (2023).....	13
Figure 2-3	Résultat de simulation hydraulique d'influence hydraulique aval par SOGREAH (2023).....	14
Figure 3-1	Schéma type d'élargissement extrême du lit mineur de l'Aa pour gérer une crue de 90 m ³ /s.....	15
Figure 3-2	Emprise d'un recalibrage extrême de l'Aa à Fauquembergues.....	17
Figure 3-3	Emprise d'un recalibrage extrême de l'Aa à Lumbres.....	18
Figure 3-4	Emprise d'un recalibrage extrême de l'Aa à Esqueredes.....	19
Figure 3-5	Emprise d'un recalibrage extrême de l'Aa à Wizernes.....	20
Figure 3-6	Emprise d'un recalibrage extrême de l'Aa à Blendecques ouest.....	21
Figure 3-7	Emprise d'un recalibrage extrême de l'Aa à Blendecques est.....	22
Figure 3-8	Emprise d'un recalibrage extrême de l'Aa à Arques.....	23
Figure 4-1	Schéma de principe d'un curage sur un cours d'eau avec des seuils et des ponts.....	26
Figure 4-2	Photos de l'opération de curage de la zone d'atterrissement en aval du Moulin Marin (8 juillet 2024, source SmageAa)	28
Figure 4-3	Effet du curage de la zone d'atterrissement fait en juillet 2024 en aval du Moulin Marin simulé rétroactivement pour la crue du 6 novembre 2023.....	29
Figure 4-4	Effet du curage de la zone d'atterrissement fait en juillet 2024 en aval du Moulin Marin simulé rétroactivement pour la crue du 11 novembre 2023.....	30
Figure 5-1	Incidences de l'ajout de moulins (vannes ouvertes et vannes fermées) sur les débits de la crue de 2023 à Fauquembergues.....	38
Figure 5-2	Incidences de l'ajout de moulins (vannes ouvertes et vannes fermées) sur les débits de la crue de 2023 à Elnes	39
Figure 5-3	Incidences de l'ajout de moulins (vannes ouvertes et vannes fermées) sur les débits de la crue de 2023 à Wizernes	40
Figure 5-4	Incidences de l'ajout de moulins toutes vannes fermées sur les hauteurs d'eau maximales pour l'évènement de 2023 à Ouve-Wirquin.....	41
Figure 5-5	Incidences de l'ajout de moulins toutes vannes fermées sur les étendues d'eau maximales pour l'évènement de 2023 à Ouve-Wirquin.....	42
Figure 5-6	Incidences de l'ajout de moulins toutes vannes ouvertes sur les hauteurs d'eau maximales pour l'évènement de 2023 à Ouve-Wirquin.....	43
Figure 5-7	Incidences de l'ajout de moulins toutes vannes ouvertes sur les étendues d'eau maximales pour l'évènement de 2023 à Ouve-Wirquin.....	44

Figure 5-8	Incidences de l'ajout de moulins toutes vannes fermées sur les hauteurs d'eau maximales pour l'évènement de 2023 à Wizernes.....	45
Figure 5-9	Incidences de l'ajout de moulins toutes vannes fermées sur les étendues d'eau maximales pour l'évènement de 2023 à Wizernes.....	46
Figure 5-10	Incidences de l'ajout de moulins toutes vannes ouvertes sur les hauteurs d'eau maximales pour l'évènement de 2023 à Wizernes.....	47
Figure 5-11	Incidences de l'ajout de moulins toutes vannes ouvertes sur les étendues d'eau maximales pour l'évènement de 2023 à Wizernes.....	48
Figure 5-12	Incidences de l'ajout de moulins toutes vannes fermées sur les hauteurs d'eau maximales pour l'évènement de 2023 à Blendecques.....	49
Figure 5-13	Incidences de l'ajout de moulins toutes vannes fermées sur les étendues d'eau maximales pour l'évènement de 2023 à Blendecques.....	50
Figure 5-14	Incidences de l'ajout de moulins toutes vannes ouvertes sur les hauteurs d'eau maximales pour l'évènement de 2023 à Blendecques.....	51
Figure 5-15	Incidences de l'ajout de moulins toutes vannes ouverte sur les étendues d'eau maximales pour l'évènement de 2023 à Blendecques.....	52
Figure 6-1	Schéma de l'impact de la rugosité des berges d'un cours d'eau sur les écoulements.....	55
Figure 6-2	Hydrogrammes de crues mesurés à Fauquembergues et Wizernes en décembre 1999.....	57
Figure 6-3	Hydrogrammes de crues mesurés à Fauquembergues et Wizernes en février/mars 2002.....	58
Figure 6-4	Hydrogrammes de crues mesurés à Fauquembergues et Wizernes en novembre 2023.....	59
Figure 6-5	Hydrogrammes de crues mesurés à Fauquembergues et Wizernes en janvier 2024.....	60
Figure 8-1	Localisation des principales retenues collinaires et CIC sur le bassin versant de l'Aa.....	83
Figure 8-2	Schémas de principe de retenues collinaires et de CIC.....	84
Figure 8-3	Photographie aérienne du CIC 1 à Saint-Martin-d'Hardinghem pendant la crue du 11 novembre 2023 (source : DREAL).....	85
Figure 8-4	Photographie aérienne du CIC 6 (Renty) pendant la crue du 11 novembre 2023 (source : SmageAa).....	86
Figure 8-5	Photographie aérienne du CIC 3 (Aix-en-Ergny) pendant la crue du 11 novembre 2023 (Source : SmageAa)	86
Figure 8-6	Photographie aérienne du CIC 7 (Merck-St-Liévin) pendant la crue du 11 novembre 2023 (source : DREAL)	87
Figure 8-7	Courbes de remplissage du CIC 2 pendant la crue de novembre 2023.....	88
Figure 8-8	Courbes de remplissage du CIC 1 pendant la crue de novembre 2023.....	89
Figure 8-9	Courbes de remplissage du CIC 7 pendant la crue de novembre 2023.....	90
Figure 8-10	Courbes de remplissage du CIC 12 pendant la crue de novembre 2023.....	91
Figure 9-1	analogie du sablier pour illustrer un état de saturation des sols et l'impact sur le risque de ruissellement	93
Figure 9-2	Carte pédologique du bassin versant de l'Aa en amont de Arques.....	94

Figure 9-3	Pluie mesurée à Nielles-les-Bléquin et image radar de la pluie du 01/08/2024 (source : www.infoclimat.fr)	97
Figure 9-4	Indice d'humidité des sols en France au 1 ^{er} août 2024 (source : Météo France).....	98
Figure 9-5	Hydrogramme de débit de l'Aa à Fauquembergues le 1 ^{er} août 2024 (source : Météo France).....	99
Figure 9-6	Hydrogramme de débit du Bléquin à Lumbres le 1 ^{er} août 2024 (source : Météo France).....	99
Figure 9-7	Hydrogramme de débit de l'Aa à Wizernes le 1 ^{er} août 2024 (source : Météo France).....	100
Figure 9-3	Pluie mesurée à Nielles-les-Bléquin et image radar de la pluie du 30/08/2020 (source : www.infoclimat.fr)	101
Figure 9-9	Indice d'humidité des sols en France au 1 ^{er} août 2020 (source : Météo France).....	102
Figure 9-10	Hydrogramme de débit de l'Aa à Fauquembergues le 30 août 2020 (source : Météo France).....	103
Figure 9-11	Hydrogramme de débit du Bléquin à Lumbres le 30 août 2020 (source : Météo France).....	103
Figure 9-12	Hydrogramme de débit de l'Aa à Wizernes le 30 août 2020 (source : Météo France).....	104
Figure 9-13	Pluie mesurée à Nielles-les-Bléquin et image radar de la pluie du 05 au 06/11/2023 (source : www.infoclimat.fr).....	105
Figure 9-14	Indice d'humidité des sols en France au 1 ^{er} août 2020 (source : Météo France).....	106
Figure 9-15	Hydrogramme de débit de l'Aa à Fauquembergues le 06 novembre 2023 (source : Météo France)....	107
Figure 9-16	Hydrogramme de débit du Bléquin à Lumbres le 06 novembre 2023 (source : Météo France).....	107
Figure 9-17	Hydrogramme de débit de l'Aa à Wizernes le 06 novembre 2023 (source : Météo France).....	108
Figure 9-18	Pluie mesurée à Nielles-les-Bléquin et image radar de la pluie du 17 au 19/11/2016 (source : www.infoclimat.fr).....	109
Figure 9-19	Indice d'humidité des sols en France au 1 ^{er} novembre 2016 (source : Météo France).....	110
Figure 9-20	Hydrogramme de débit de l'Aa à Fauquembergues le 19 novembre 2016 (source : Météo France)....	111
Figure 9-21	Hydrogramme de débit du Bléquin à Lumbres le 19 novembre 2016 (source : Météo France).....	111
Figure 9-22	Hydrogramme de débit de l'Aa à Wizernes le 19 novembre 2016 (source : Météo France).....	112
Figure 9-23	Evolution des précipitations quotidiennes moyennes remarques aux horizons 2050 et 2100 – scénario moyen (source : DRIAS-Climat.fr).....	114
Figure 10-1	Schéma du système d'endiguement de Blendecques (source : SmageAa).....	115
Figure 10-2	Schéma du système d'endiguement de Blendecques (source : ISL).....	116
Figure 10-3	Etendues maximales inondées à Blendecques le 6/11/2023 (source : DREAL).....	117
Figure 10-4	Etendues maximales inondées à Blendecques le 11/11/2023 (source : DREAL).....	118
Figure 10-5	Etendues maximales inondées à Blendecques pour une crue centennale (source : ISL).....	119
Figure 11-1	Territoire des Wateringues et bassins versants (source : IIW).....	120
Figure 11-2	Evacuation des eaux à la mer à l'échelle du territoire des Wateringues (source : IIW).....	122
Figure 11-3	Evacuation des eaux à la mer par secteur géographique et par mode gravitaire ou de pompage (source : IIW)	123

Figure 11-4	Détail des capacités de pompage par station IIW en novembre 2023 (source : IIW).....	124
Figure 11-5 (source : IIW)	Volumes pompés – cumuls pluviométriques et niveaux marins maximums du 01/11 au 31/12/2023	125
Figure 11-6	Volumes pompés et répartition des pompages sur les stations de l'IIW en novembre 2023 (source : IIW)	126

➤ Intervenants de V2R Ingénierie & Environnement (mandataire) :

- Mickaël LOOTENS – Direction de projet
- Numéro de dossier : 404-16/ENV



V2R
Ingénierie &
Environnement

48BIS Route de Desvres
BP950
62280 Saint-Martin-Boulogne Cédex
Tél. : 03 21 10 42 42
Fax. : 03 21 10 42 43
Courriel : contact@v2r.fr

➤ Intervenants de DHI Eau & Environnement (co-traitant) :

- Eurico DE CARVALHO FILHO - Chef de projet
- Florent MONTARROS – Chargé d'étude
- Numéro de dossier : 21805336



2 rue Edouard Nignon
CS 47202
44372 NANTES Cedex 3
Tel: 02 40 48 40 40
Courriel : france@dhigroup.com

1. CONTEXTE

1.1 Général

L'automne 2023 et le début d'année 2024 ont été marqués par une pluviométrie exceptionnelle ayant entraîné de nombreux phénomènes de ruissellements mais aussi plusieurs crues qualifiées d'historiques. Ces événements ont eu lieu malgré la mise en place de différents programmes visant à réduire l'aléa et à protéger des secteurs bâtis.

Le SmageAa souhaite donc compléter le précédent programme de travaux pour trouver des solutions permettant de protéger le territoire contre des inondations supérieures à la crue de référence du 1er mars 2002.

Les objectifs de l'étude sont :

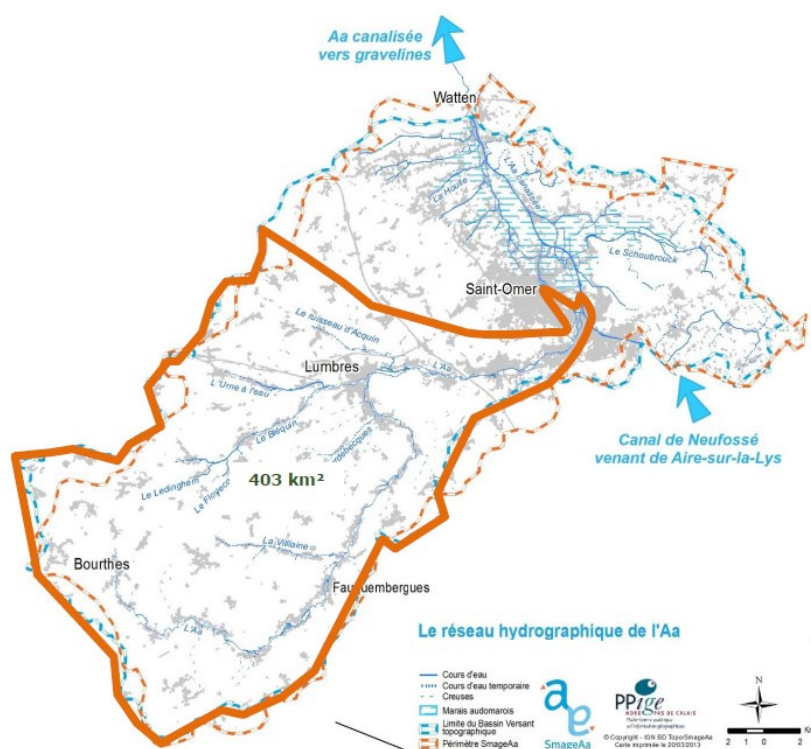
De trouver des solutions pour prévenir les inondations pour des événements de type :

- 06-07 novembre 2023 (crue d'occurrence supérieure à 50 ans) pour l'Aa à Wizernes
- 10 novembre sur le Bléquin (crue d'occurrence supérieure à 20 ans)

De réduire l'aléa pour les crues de type :

- 06 novembre pour le Bléquin (T>50 ans)
- 11 novembre 2023 et 03/04 janvier 2024 (T>180ans) pour l'Aa à Wizernes

Le périmètre de l'étude porte sur l'Aa et ses affluents, depuis ses sources jusqu'aux confluences de la Haute et Basse Meldyck avec les canaux, y compris les amenées d'eau du canal dans la Basse Meldyck à Arques. La superficie du territoire est d'environ 403 km² :



L'étude est organisée en cinq phases:

- Phase 1 : Modélisation des épisodes de crues de novembre 2023 et janvier 2024
- **Phase 2 : Analyse des solutions prônées par les habitants**
- Phase 3 : Analyse des actions envisagées non mises en œuvre
- Phase 4 : Recherche de solutions complémentaires
- Phase 5 : Proposition de programmes de travaux

Le présent rapport concerne la phase 2.

1.2 Objectifs de la Phase 2

Ce rapport vise à analyser l'ensemble des solutions d'aménagements proposées par les habitants du bassin versant de l'Aa pour réduire les inondations. L'analyse bibliographique des études disponibles sur le secteur ainsi que le modèle hydrodynamique 1D/2D couplé qui a été conçu et calé en phase 1 sont réemployés pour appuyer cette analyse.

Les solutions d'aménagements dont la pertinence aura été démontrée par cette analyse seront intégrées dans la proposition de programmes de travaux en phase 5.

1.3 Précision sémantique sur *Le modèle hydraulique*

Pour des raisons de lisibilité, l'expression « le modèle hydraulique » sera utilisée pour désigner le modèle hydraulique couplé 1D/2D, élaboré et calé dans le cadre de la phase 1. Les hypothèses de construction de ce modèle et son calage sont décrits dans le rapport de phase 1.

1.4 Crues considérées dans l'analyse

La présente étude faisant suite aux crues de novembre 2023 et de janvier 2024, les solutions d'aménagements seront analysées dans un premier temps dans le cadre de la crue de novembre 2023, la plus importante d'entre elles.

2. INFLUENCE DES MAREES SUR LES ECOULEMENTS DE L'Aa EN CRUE

2.1 Contexte

On peut distinguer trois grands secteurs hydrographiques différents dans le bassin versant de l'Aa :

- La partie amont, qui s'étend sur 404 km² depuis sa source en amont de Bourthes jusqu'à son exutoire au Marais à Arques ;
- La partie intermédiaire du « Marais Audomarois », qui s'étend sur 261 km² entre Saint-Omer et Watten ;
- La partie aval, qui s'étend de Watten à la Mer, au sein du « Delta de l'Aa ».

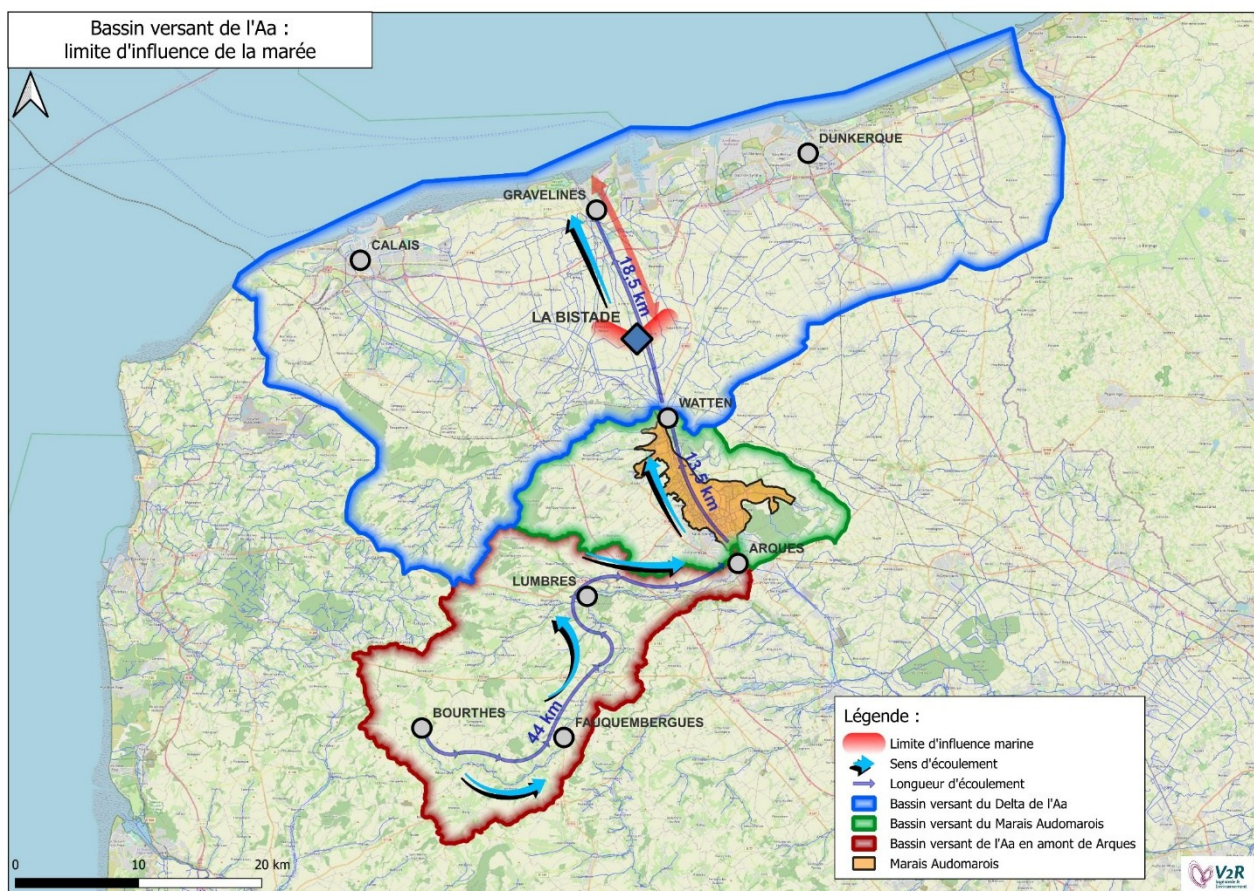


Figure 2-1 Bassin versant de l'Aa et du Delta de l'Aa

L'Aa parcourt plus de **76 km** entre sa source à Bourthes et la mer. Elle se jette gravitairement à Gravelines (59), à 18,5 km de Watten.

L'eau met plus de 10 heures pour rejoindre la mer depuis Watten.

L'objet de ce chapitre est d'apporter une réponse à la question de l'influence ou non des marées sur les niveaux d'eau dans le marais Audomarois.

2.2 Analyse

Les différentes études et simulations hydrauliques réalisées depuis 2002 ont montré que la limite d'influence du niveau marin était au lieu « La Bistade », à Sainte-Marie-Kerque (59).

Nous citerons à ce sujet l'étude suivante :

« Etude des solutions pour améliorer l'évacuation des crues dans les bassins de l'Aa et de la Lys »

Phase 2 – Propositions d'aménagements – Système Aa-Canal à Grand Gabarit

Auteur : SOGREAH

Date : Juillet 2003

Dans le cadre de cette étude, une modélisation hydraulique du système Aa-Canal à Grand Gabarit a été réalisée par SOGREAH.

Des tests de travaux ont été simulés, relatifs à un abaissement du radier du pont SNCF de Gravelines (« Test 10 »), et à approfondissement de l'Aa canalisée entre la Bistade et Gravelines (« Test 11 »).

Les graphiques résultats des tests 10 et 11 sont repris dans les deux pages suivantes.

La simulation montre que l'impact hydraulique de l'abaissement du niveau d'eau lié à ces travaux sur l'aval du bassin versant (Gravelines et prox.) n'est sensible qu'entre la Bistade et la mer. En amont, la différence de niveau d'eau « avant / après » aménagement est à peine significative (-1cm).

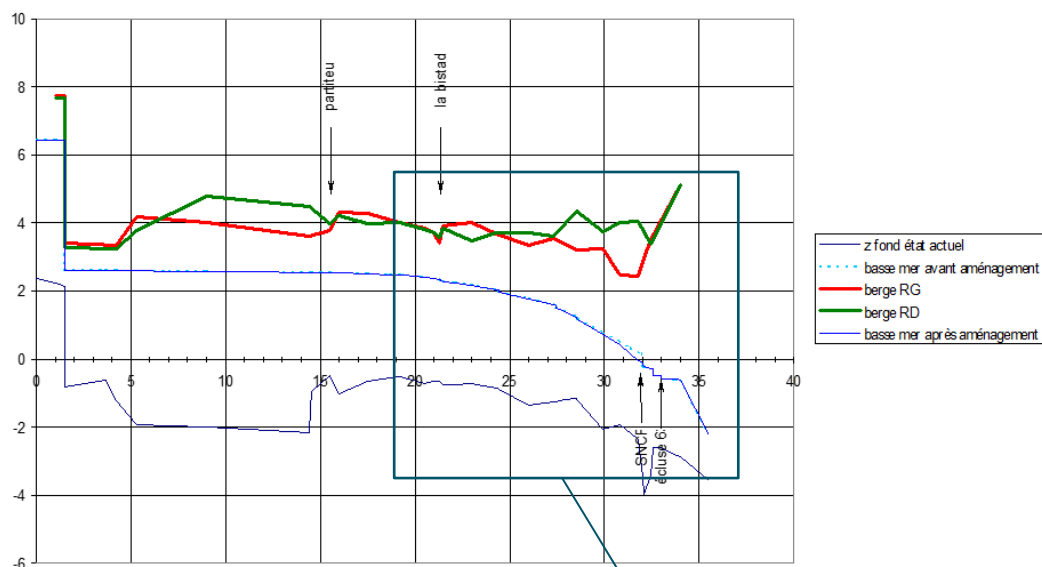
2.3 Conclusion

Les simulations hydrauliques de l'Aa-Canal à Grand Gabarit réalisées dans l'étude de 2023 démontrent que la limite d'influence de toute variation de niveau d'eau à Gravelines ou à proximité de Gravelines est située à la Bistade. Les marées étant une variation de niveau d'eau à la mer, à Gravelines, on peut donc affirmer que la limite d'influence des marées est également située à la Bistade.

A partir de la Bistade, le niveau d'eau ne varie plus que de 1cm au maximum jusqu'à Watten, quelles que soient les conditions de marée, et avec plus de 10 heures de décalage.

Il n'y a donc, a fortiori, pas d'influence de la marée possible sur les niveaux d'eau dans le Marais Audomarois.

Aa - Aménagement A13 - Test 10 - Profil en long hydraulique



SOGREAH – JCP /CJN/CBN – 2830011 R2.4 V3.doc – JUILLET 2003

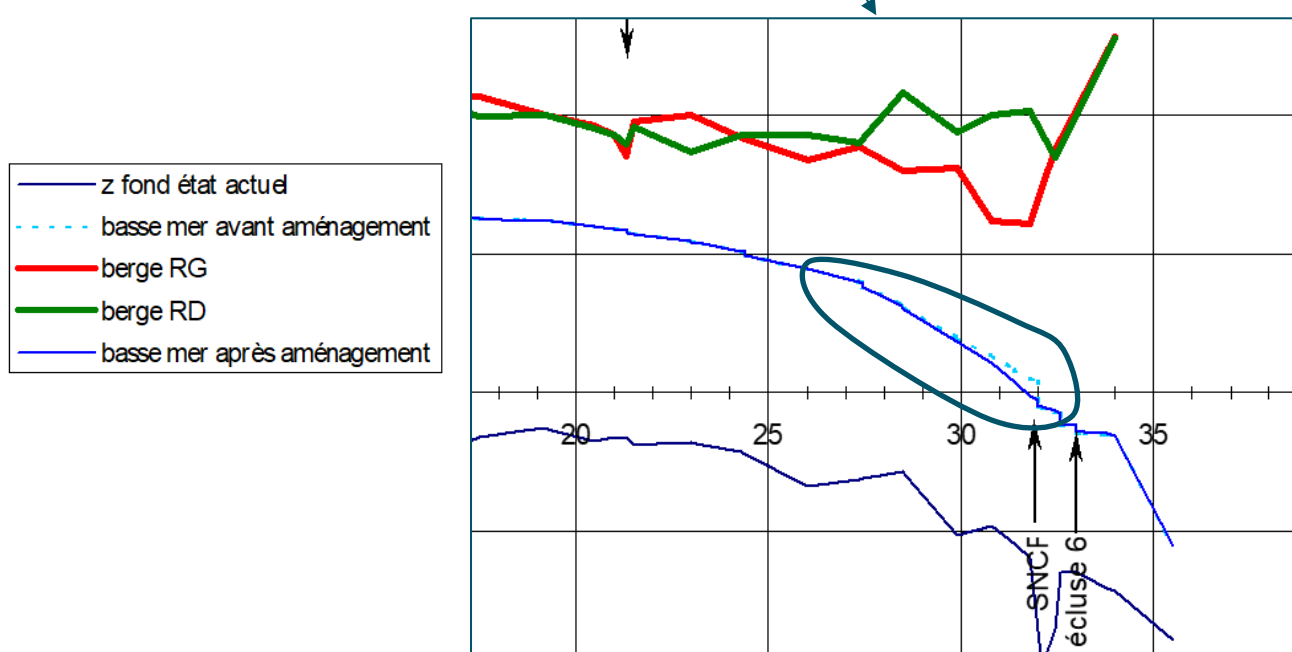
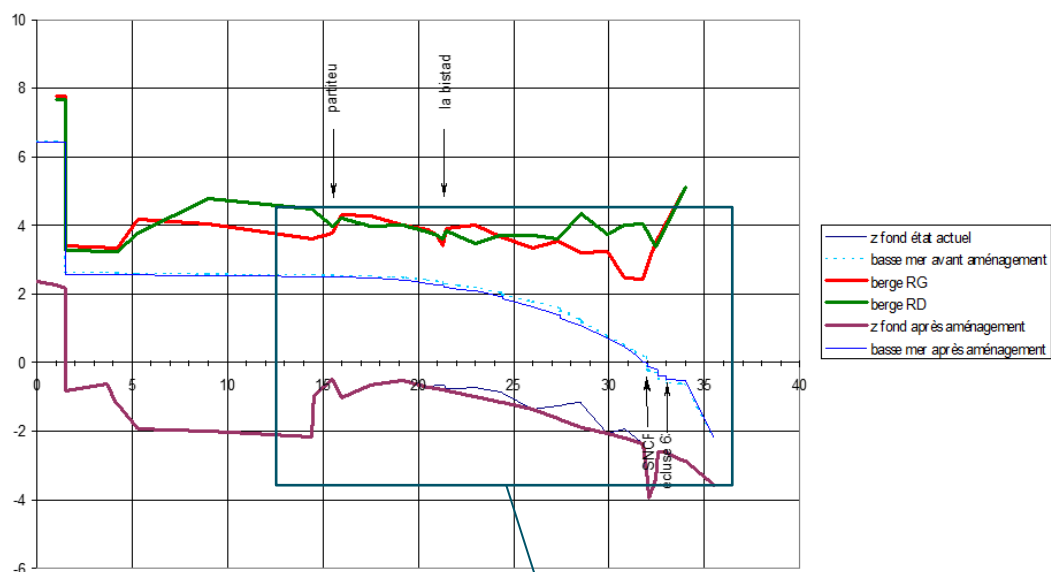


Figure 2-2 Résultat de simulation hydraulique d'influence hydraulique aval par SOGREAH (2023)

Aa - Aménagement A13 - Test 11 - Profil en long hydraulique



SOGREAH – JCP /CJW/CBN – 2830011 R2.4 V3.DOC – JUILLET 2003

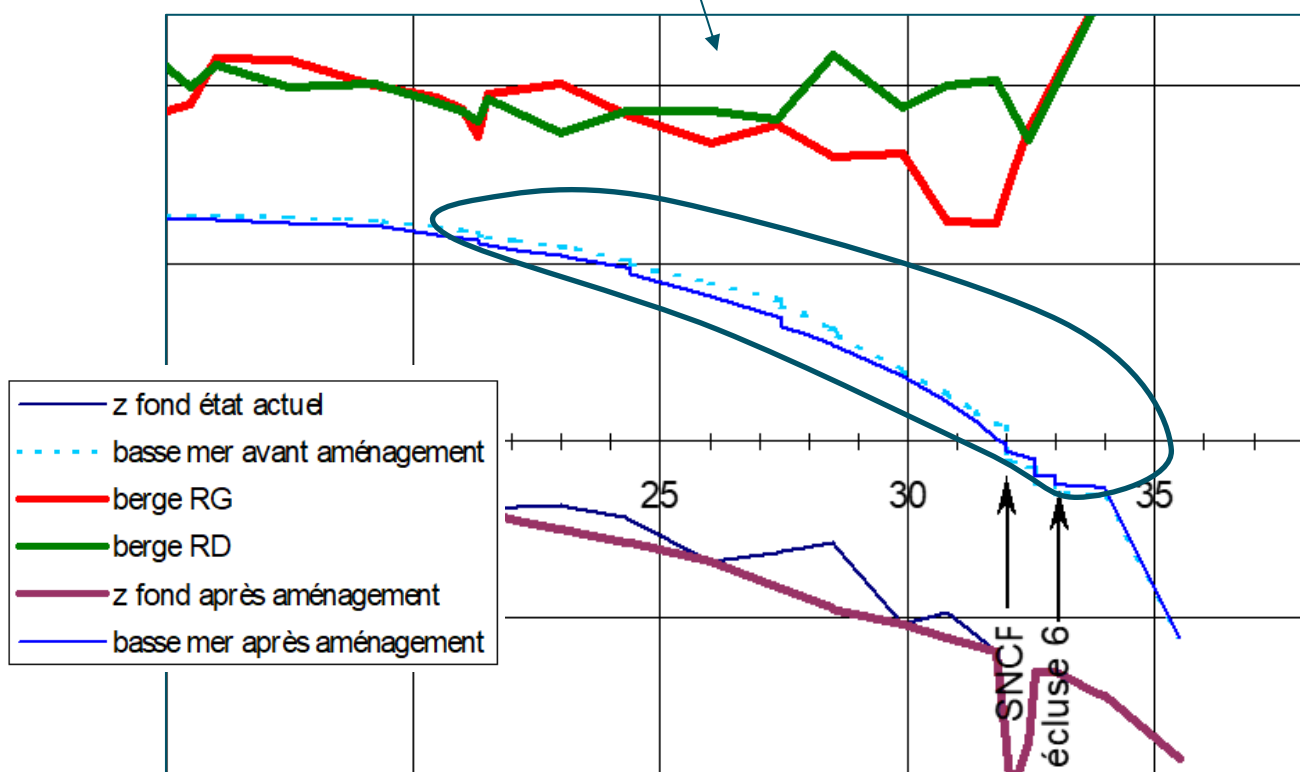


Figure 2-3 Résultat de simulation hydraulique d'influence hydraulique aval par SOGREAH (2023)

3. EFFETS POTENTIELS D'UN RECALIBRAGE TOTAL DE L'Aa POUR QU'IL N'Y AIT PLUS DE DEBORDEMENT

3.1 Contexte

Après les crues majeures de novembre 2023 et janvier 2024 des questions sont remontées d'une partie de la population concernant le fait de recalibrer le lit mineur de l'Aa pour qu'il puisse traverser sans déborder les villes de l'aval de la Vallée (de Lumbres à Saint-Omer).

Cette analyse va montrer les conséquences d'un tel projet sur l'emprise au sol qu'il nécessiterait, les impacts sur les démolitions d'ouvrages et d'habitations qui serait nécessaires et les coûts de travaux associés.

3.2 Analyse

Les crues de novembre 2023 et janvier 2024 ont engendré un débit de pointe maximal de l'Aa :

- De l'ordre de 40 m³/s à Fauquembergues pour l'Aa ;
- De l'ordre de 37 m³/s à Lumbres pour le Bléquin ;
- De l'ordre de 60 m³/s à Elnes pour l'Aa ;
- de l'ordre de 90 m³/s à Wizernes pour l'Aa.

Pour transiter sans déborder les débits des crues de Novembre 2023 et Janvier 2024, il faudrait élargir le lit mineur de l'Aa de 250% minimum dans la traversée des villes inondées (pour multiplier par deux la débitance et atteindre, par exemple, jusqu'à 40 m³/s à Fauquembergues et 90 m³/s à Blendecques et Arques).

Les conséquences sur l'emprise du cours d'eau sont considérables, par exemple sur cette coupe type pour l'Aa en aval de Setques :

Exemple avec une section type vers Wizernes / Blendecques :

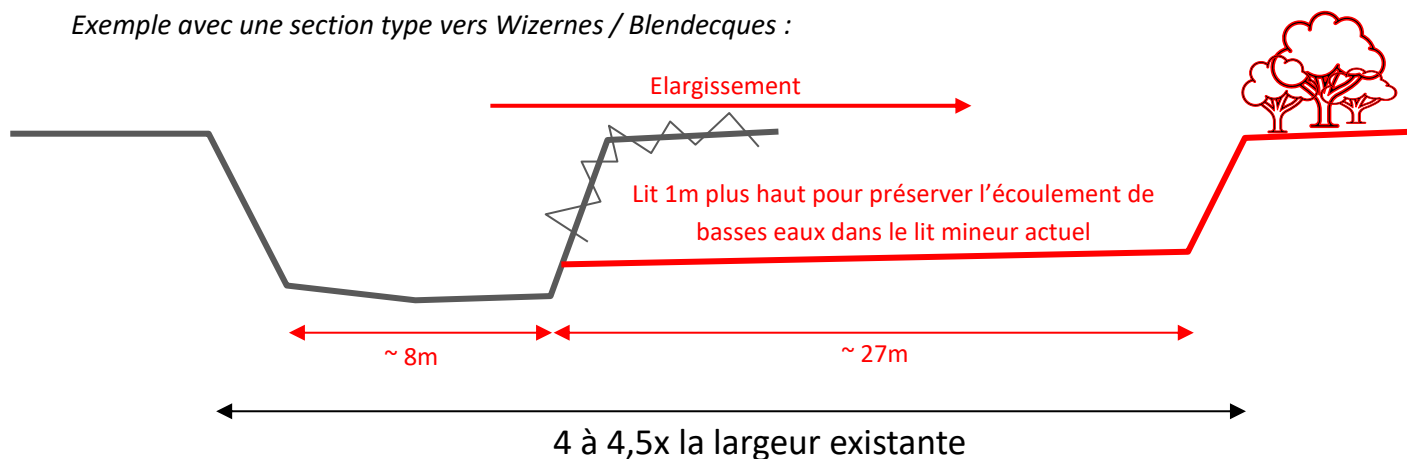


Figure 3-1 Schéma type d'élargissement extrême du lit mineur de l'Aa pour gérer une crue de 90 m³/s

Calcul théorique type pour expliquer cette valeur d'élargissement :

Données d'entrée :

- Profondeur moyenne (h) : 2m50
- Largeur de fond moyenne (b) : 8m00
- Pente des berges : 45°
- Pente longitudinale (I) : 0,005 m/m (0,5%)
- Coefficient de Strickler (K) : 15 (rugosité élevée/lit encombré, végétation dense)

Calculs du débit capable avant débordement dans le cours d'eau type étudié :

1. Section (S) = 26,25 m²
2. Périmètre (P) = 15,06 m
3. Rayon hydraulique (Rh) : $S/P = 26,25 / 15,06 = 1,74$ m
4. Débit capable avant débordement (Q) : $K * S * Rh^{2/3} * I^{0,5} = 15 * 26,25 * 1,74^{2/3} * 0,005^{0,5} \sim 40$ m³/s

Calcul de l'élargissement pour que le débit avant débordement atteigne 90 m³/s

Pour atteindre 90 m³/s sans dépasser la hauteur de **1m50** sur la partie élargie (l'écoulement de faible débit et débit courant doit rester dans le lit mineur actuel pour préserver l'équilibre hydraulique), nous devons calculer le débit passant dans le profil composé.

Le débit supplémentaire devant être transité dans l'élargissement du cours d'eau est de 50 m³/s.

L'extension est en fait une banquette de profondeur 1m50 et de largeur « L » à définir. Pour un K=15 et I=0,005, la vitesse V est d'environ 1,25 m/s.

$$S_{\text{extension}} = Q_{\text{suppl}} / V = 50 / 1,25 \sim 40 \text{ m}^2$$

$$L = S_{\text{extension}} / 1,50 \sim 27 \text{ m}$$

Tableau de résumé des résultats :

Paramètre	Situation Actuelle	Situation Projetée
Débit avant débordement du lit mineur	40 m ³ /s	90 m ³ /s
Largeur du fond totale moyenne du lit mineur	8m00	35m00 (8+27)
Profondeur moyenne du lit mineur	2m50	1m50 (sur zone élargie)

Exemples des impacts de travaux à Fauquembergues :

8 habitations à démolir

3 ponts à démolir et reconstruire plus grands

13 millions d'euros TTC de travaux estimés

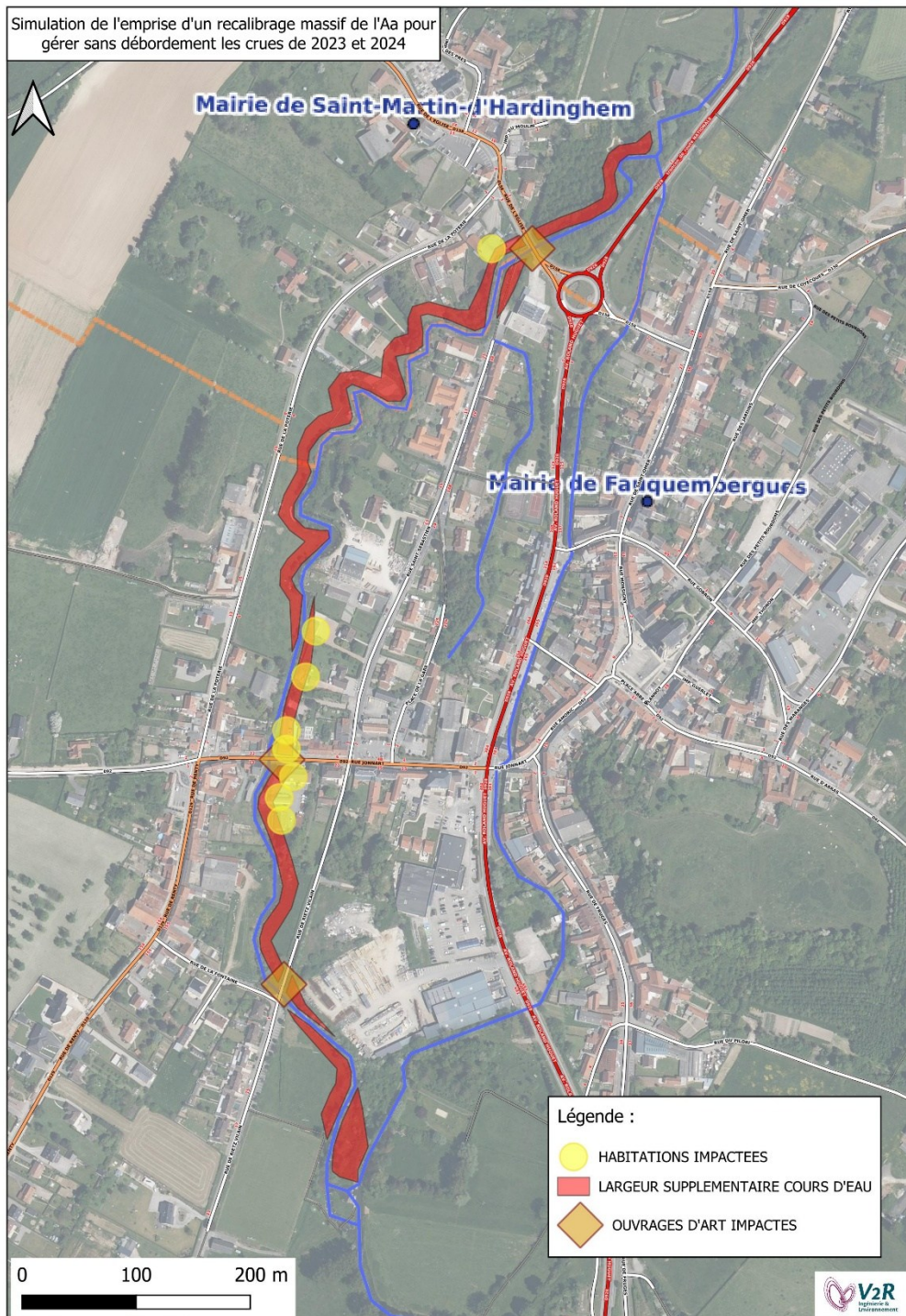


Figure 3-2 Emprise d'un recalibrage extrême de l'Aa à Fauquembergues

Exemples des impacts de travaux à Lumbres :

4 habitations à démolir

2 ponts à démolir et reconstruire plus grands

4 millions d'euros TTC de travaux estimés

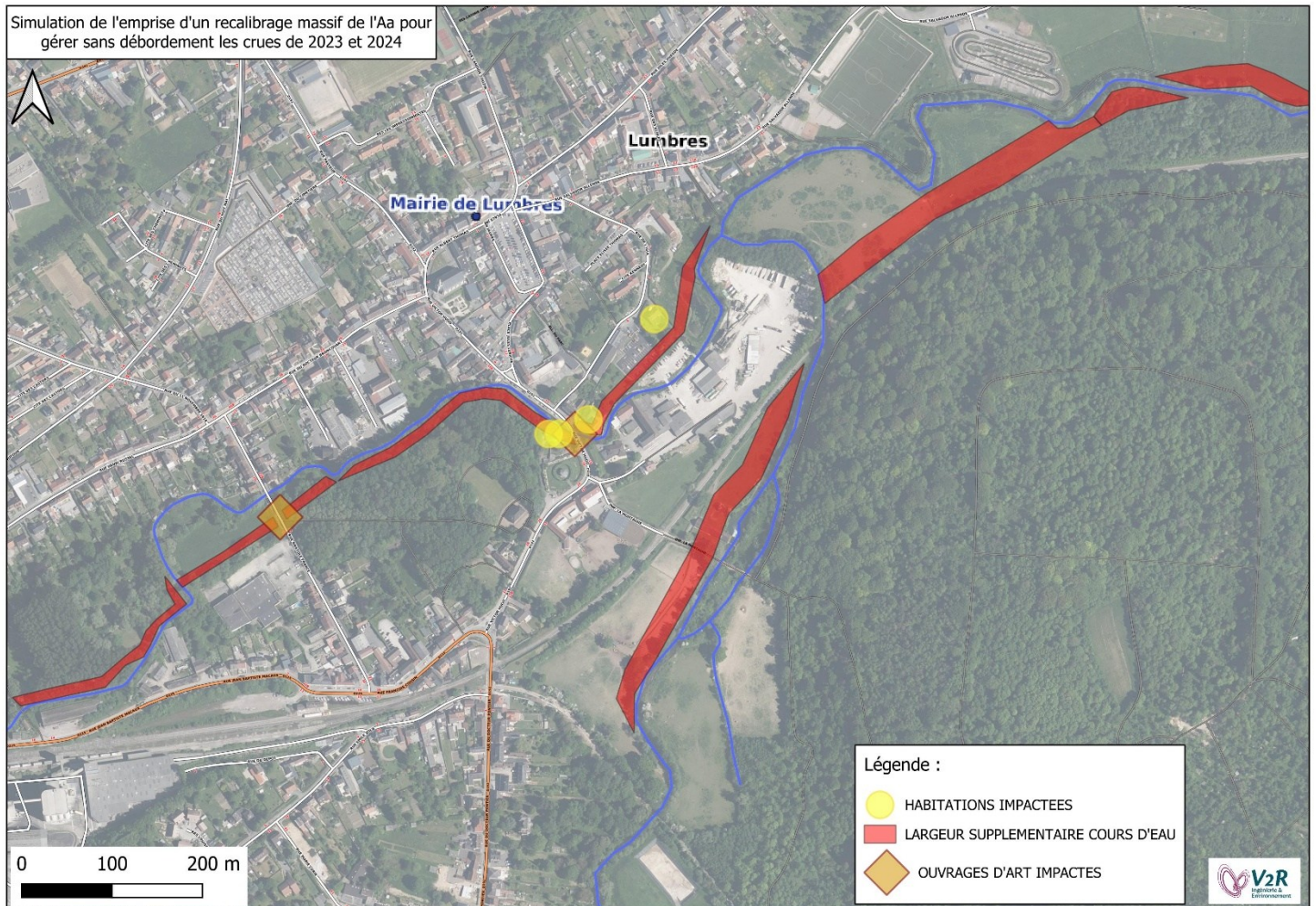


Figure 3-3 Emprise d'un recalibrage extrême de l'Aa à Lumbres

Exemples des impacts de travaux à Esquermes :

6 habitations à démolir

2 ponts à démolir et reconstruire plus grands

6,3 millions d'euros TTC de travaux estimés

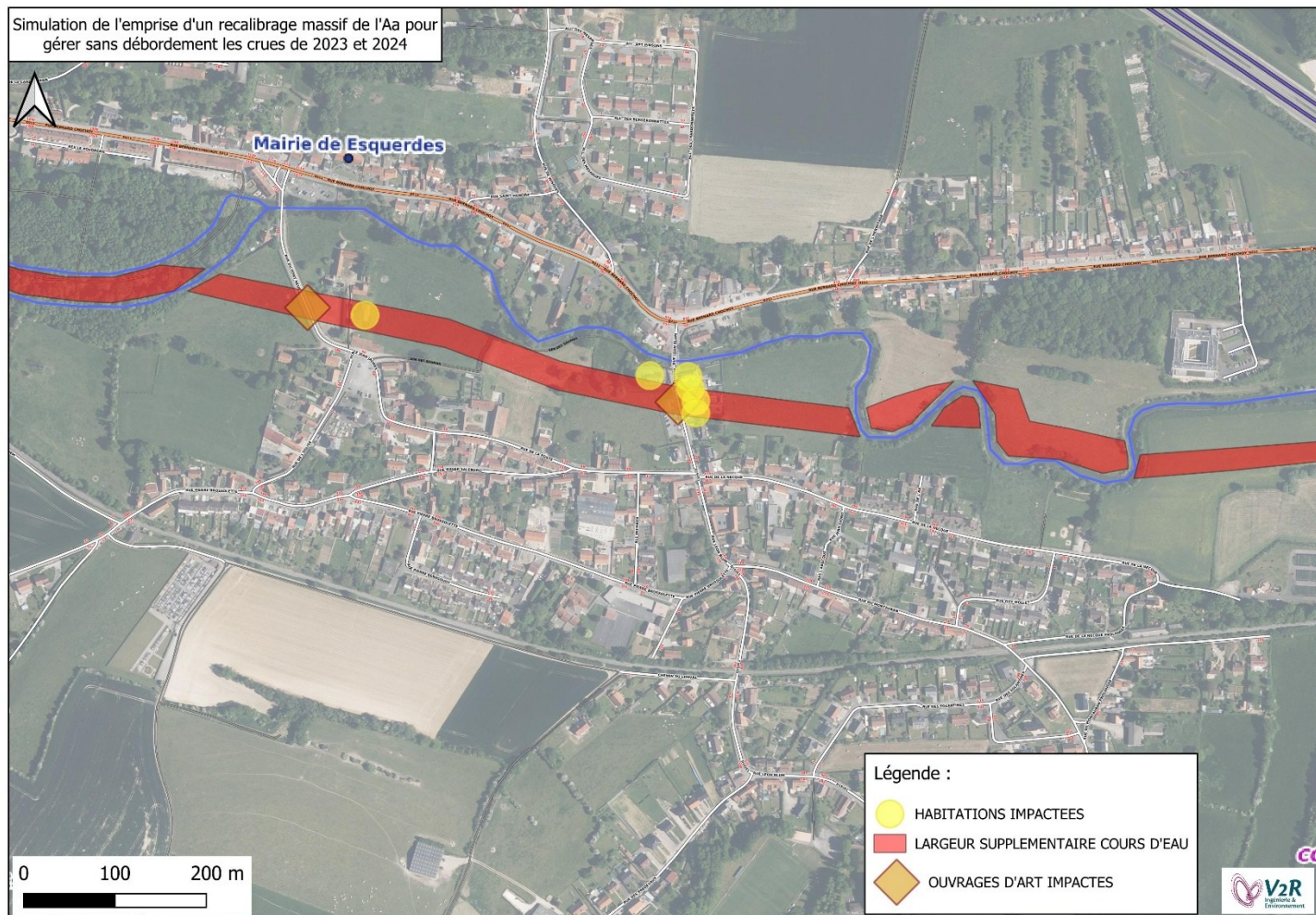


Figure 3-4 Emprise d'un recalibrage extrême de l'Aa à Esquermes

Exemples des impacts de travaux à Wizernes :

3 habitations à démolir

2 ponts à démolir et reconstruire plus grands

1 industriel fortement impacté (site de l'ex-Wizpaper)

5,0 millions d'euros TTC de travaux estimés

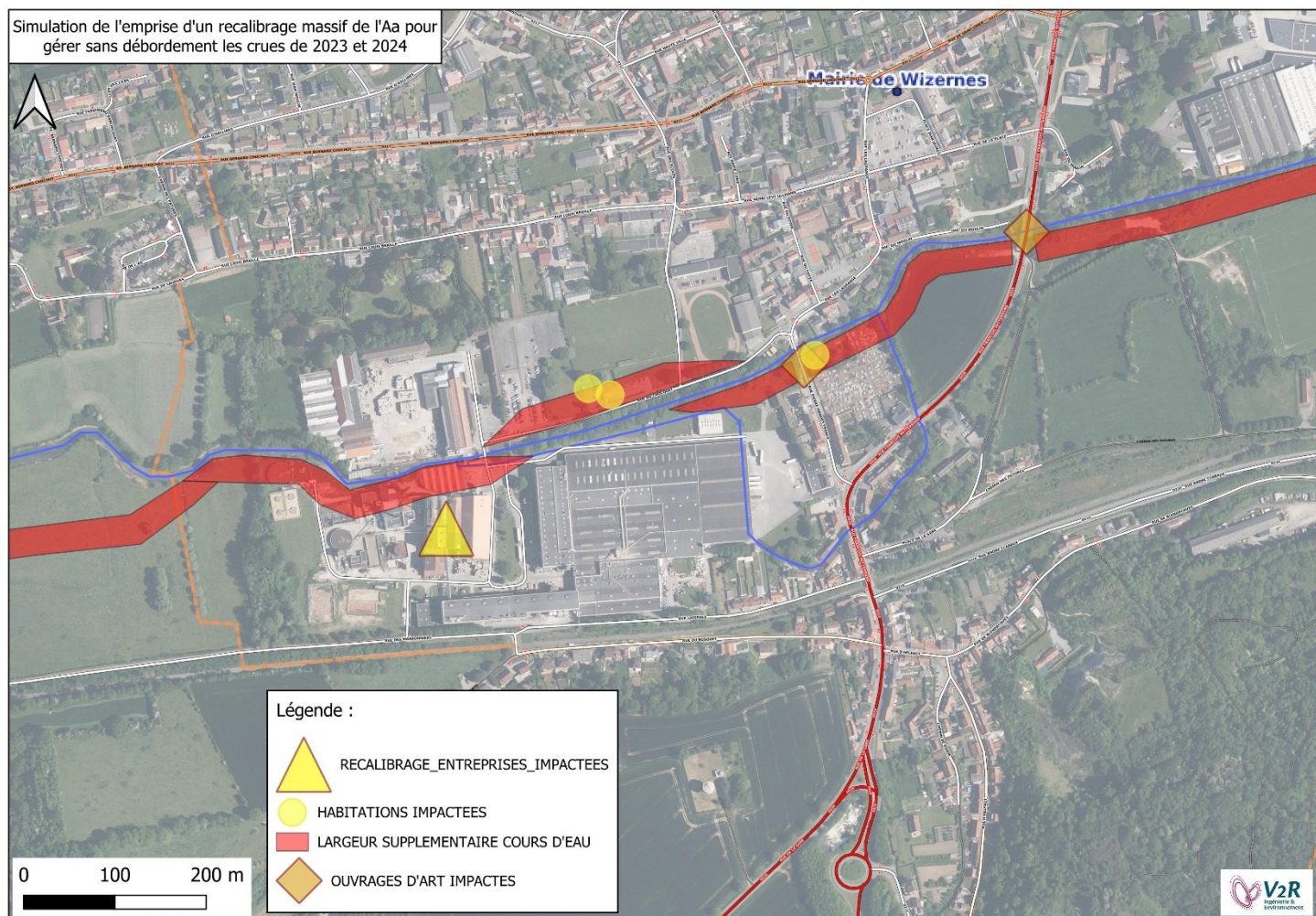


Figure 3-5 Emprise d'un recalibrage extrême de l'Aa à Wizernes

Exemples des impacts de travaux à Blendecques :

33 habitations à démolir

8 ponts à démolir et reconstruire plus grands

1 industriel fortement impacté (Kerry)

62 millions d'euros TTC de travaux estimés

Blendecques ouest :

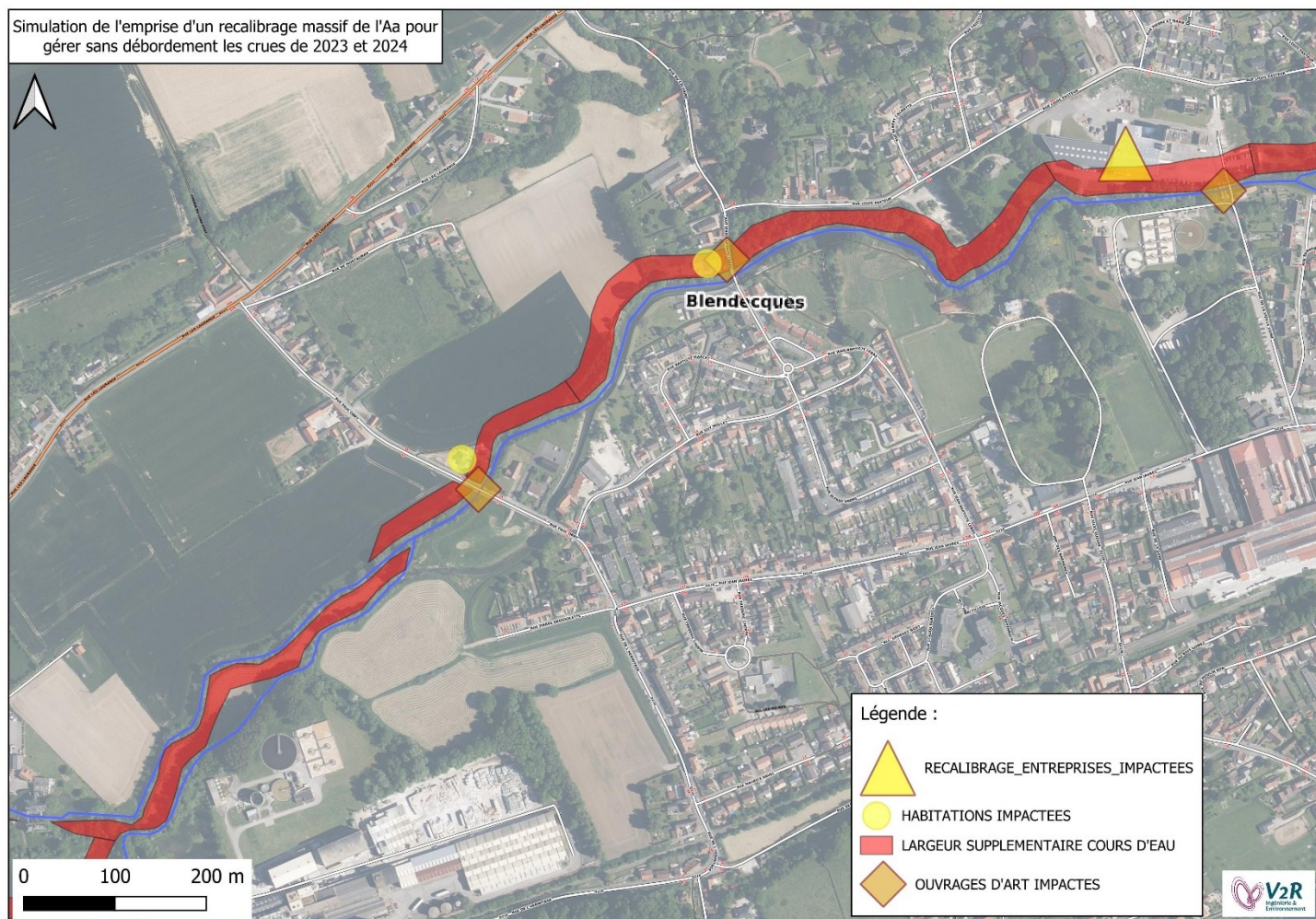


Figure 3-6 Emprise d'un recalibrage extrême de l'Aa à Blendecques ouest

Blendecques est :

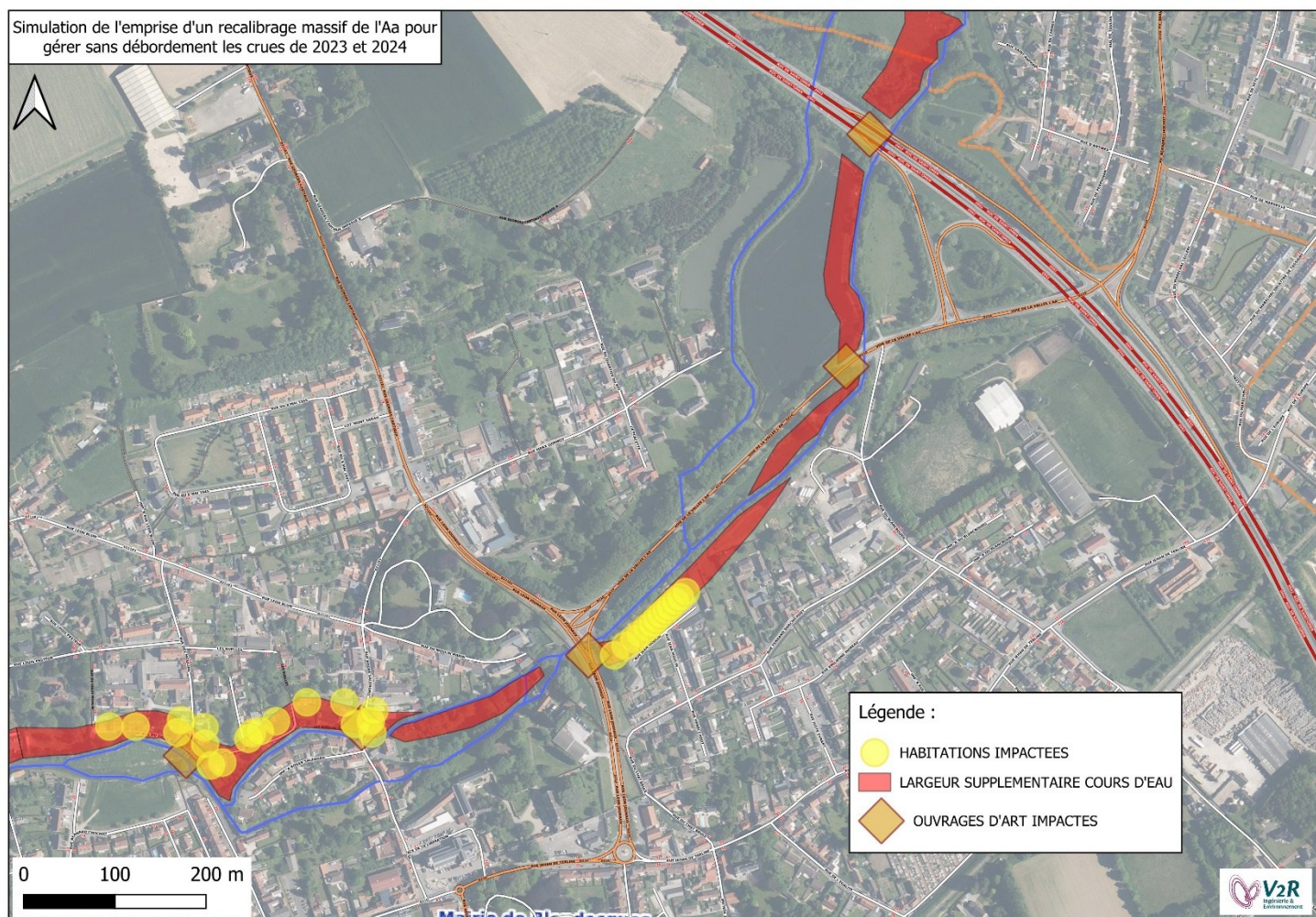


Figure 3-7 Emprise d'un recalibrage extrême de l'Aa à Blendecques est

Exemples des impacts de travaux à Arques :

11 habitations à démolir

3 ponts à démolir et reconstruire plus grands

1 industriel fortement impacté (Arc International)

38 millions d'euros TTC de travaux estimés

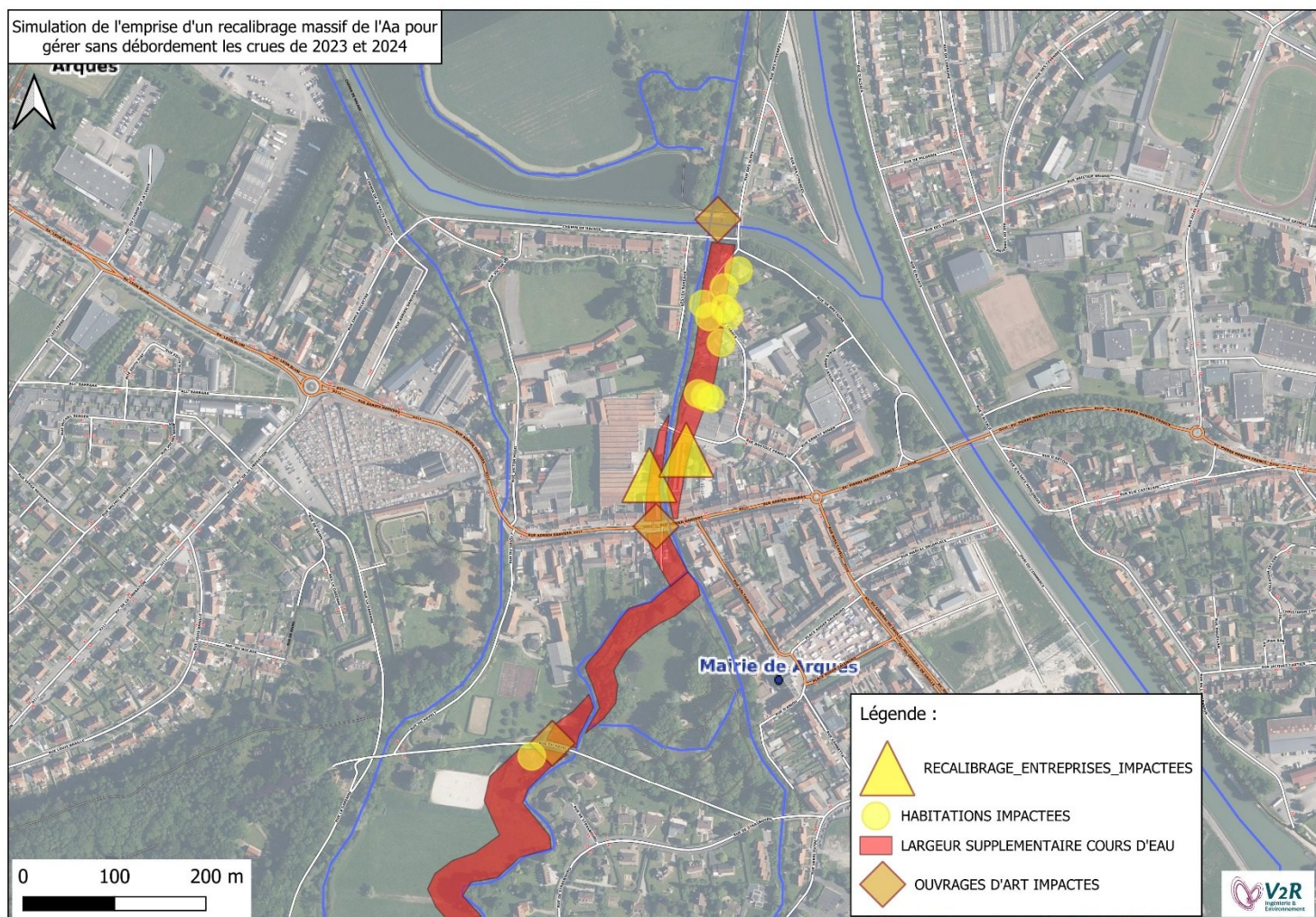


Figure 3-8 Emprise d'un recalibrage extrême de l'Aa à Arques

3.3 Conclusion

Un tel projet de recalibrage majeur de l'Aa aurait donc des impacts considérables :

- 45 logements à démolir ;
- 14 ponts à démolir et reconstruire ;
- 420 000 m³ de volume de terrassement pour élargir le lit mineur de l'Aa et du Bléquin ;
- 129 millions d'euros TTC minimum de coûts de travaux :
 - 116 millions pour l'Aa de Setques à Arques,
 - 13 millions pour l'Aa à Fauquembergues ;
- Augmentation du débit de pointe dans le Marais Audomarois de +50% (augmente de 60 m³/s à l'état de référence actuel à 90 m³/s à l'état du projet après recalibrage).

4. EFFETS POTENTIELS D'UN CURAGE DE L'AA

4.1 Contexte

Régulièrement des interrogations remontent de la population concernant l'intérêt présumé de curages sur le cours d'eau pour réduire les inondations.

Le sujet est complexe et ne se limite pas à se dire qu'un mètre de sédiment enlevé correspond à un mètre de niveau d'eau en moins, c'est bien plus complexe et doit être étudié au cas par cas.

Illustration type d'une opération de curage sur un cours d'eau large :



4.2 Analyse technique

Le curage d'une rivière permet-il d'abaisser le niveau d'eau en crue ?

Le curage peut **localement** augmenter la capacité d'écoulement d'une rivière, mais son effet sur les niveaux d'eau en crue est généralement **faible, temporaire**, et peut même être **contre-productif**. Il ne constitue **pas** une solution fiable pour réduire le risque d'inondation.

Le curage consiste à retirer les sédiments déposés dans le lit pour :

- restaurer la profondeur initiale,
- augmenter légèrement la section d'écoulement,
- parfois supprimer des seuils de dépôts localisés.

Ce type d'intervention peut être bénéfique **pour améliorer un écoulement en basses eaux**, par exemple supprimer un banc de graviers ou une zone d'atterrissement qui ralentit l'écoulement.

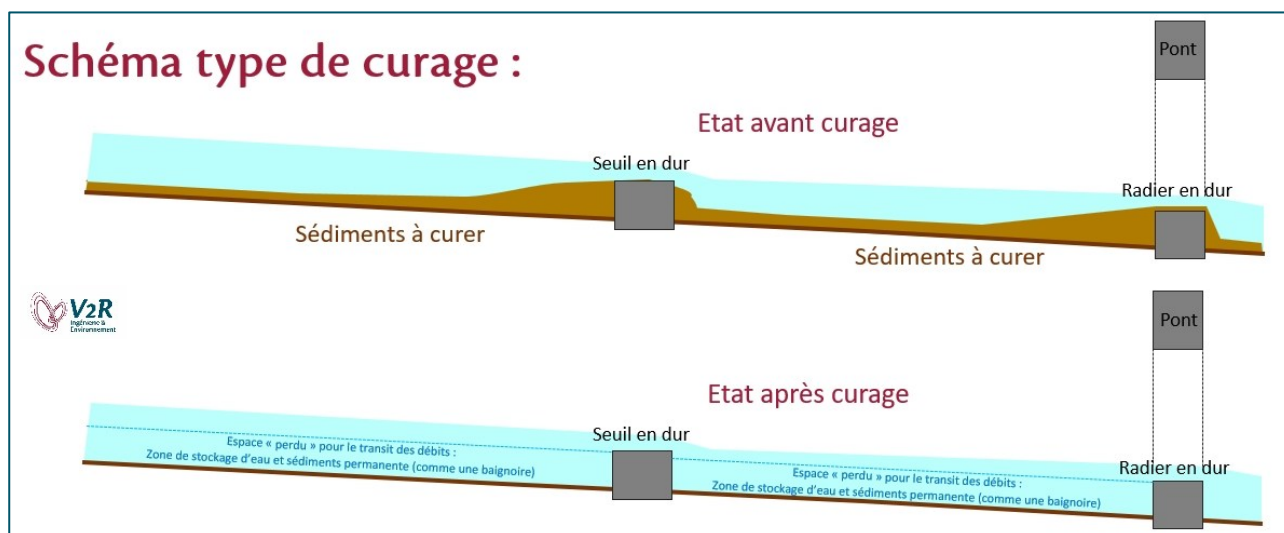


Figure 4-1 Schéma de principe d'un curage sur un cours d'eau avec des seuils et des ponts

Pourquoi cela n'abaisse presque jamais notablement le niveau d'eau en crue ?

1 : en situation de crue, le lit mineur n'est plus déterminant :

Avant débordement du cours d'eau dans le lit majeur, le débit de pointe de crue peut atteindre entre 20 à 25 m³/s en amont de Ouve-Wirquin ou 35 à 40 m³/s en aval de Lumbres. Lorsque le cours d'eau déborde, la quasi-totalité du débit de crue supplémentaire transite dans le lit majeur, ce qui peut par exemple représenter 20 m³/s pour la crue de mars 2002 ou encore jusqu'à 50 m³/s pour la crue de janvier 2024 à Blendecques.

En crue, nous pouvons donc avoir plus de la moitié du débit total qui s'écoule dans le lit majeur. Modifier le lit mineur par curage pour « gagner » localement de 1 à quelques m³/s de débitance a alors un **effet marginal** sur la hauteur d'eau totale.

2 : La rugosité et les obstacles comptent plus que la profondeur

En hydraulique fluviale (loi de Manning-Strickler), le niveau de crue dépend surtout de :

- la **largeur totale** de l'écoulement,
- la **végétation** (rugosité),
- les **obstacles** au débouché (ponts, rétrécissements),
- la **pente** du cours d'eau,
- l'**extension du débordement** dans le lit majeur.

Augmenter localement la profondeur du lit mineur n'a presque pas d'effet sur les hauteurs d'eau lorsque la rivière déborde largement.

3 : l'effet est très local et disparaît vite

Le curage crée un point bas local qui se remplit de nouveau en quelques mois ou années. La rivière rétablit rapidement et naturellement son profil d'équilibre par re-sédimentation.

Pourquoi le curage peut parfois augmenter le risque d'inondation en aval ?

Lorsque l'on augmente artificiellement la capacité d'écoulement l'eau transite plus vite et les pics de crue arrivent plus rapidement en aval, ce qui peut **aggraver** les niveaux d'eau dans les zones déjà vulnérables.

Le curage peut contribuer à réduire localement les débordements uniquement si :

- le cours d'eau est fortement envasé, au point d'avoir perdu une part significative de sa capacité ;
- les débordements se produisent pour des crues intermédiaires où le lit majeur n'est pas encore fortement mobilisé ;
- la section du lit mineur est réellement le facteur limitant ;
- la sédimentation est anormalement élevée (sortie de barrage, retenue de sable, confluence avec sur-apports solides).

Des alternatives plus efficaces que le curage pour réduire le risque d'inondation :

- **Rétention amont** : zones d'expansion de crues, ouvrages de ralentissement dynamique, champs d'inondation contrôlée ;
- **Restauration de zones humides** ;
- **Rétablissement du lit majeur** (débouchage de ponts, suppression de rétrécissements) ;
- **Ralentissement du ruissellement** (haies, couvert végétal, infiltration) ;
- **Restauration morphologique** (méandres, élargissement du lit) pour atténuer les pics de crue ;
- **Gestion de la végétation riveraine stabilisée** sans excès de curage.

Ces solutions ont un impact hydraulique **beaucoup plus fort et pérenne** que le simple curage.

4.3 Analyse réglementaire

Obligation d'entretien des cours d'eau

Selon l'article L.215-14 du CE, les riverains sont tenus d'entretenir régulièrement les cours d'eau bordant leur propriété. Il peut notamment s'agir :

- d'une coupe sélective des arbres morts ou menaçants ;
- de l'enlèvement des embâcles (branches, déchets) ;
- du maintien d'une ripisylve (végétation des berges) adaptée.

Encadrement des travaux de curage

Le curage est soumis à autorisation préalable au titre de la Loi sur l'eau et doit être strictement limité aux cas suivants :

- remédier de façon permanente à un dysfonctionnement du transport naturel des sédiments gênant le libre écoulement des eaux ou nuisant au bon fonctionnement des milieux aquatiques ;
- lutter contre l'eutrophisation ;
- aménager une portion limitée de cours d'eau pour créer ou rétablir un ouvrage.

4.4 Modélisation hydraulique de principe

Nous avons simulé avec le modèle hydraulique 2D l'impact d'une opération de curage sur deux zones d'atterrissement d'1 mètre d'épaisseur qui s'était accumulée en aval du Moulin Marin suite aux crues de 2023 et 2024.

Le curage a été réalisé par le SmageAa le 8 juillet 2024 :



Figure 4-2 Photos de l'opération de curage de la zone d'atterrissement en aval du Moulin Marin (8 juillet 2024, source SmageAa)

Les simulations ont été faites de manière rétroactive pour les crues des 6 et 11 novembre 2023. Elle ne montrent aucun effet notable en termes d'impact sur le niveau d'eau maximum de la crue en amont ou en aval de la zone curée (moins de 1cm de différence, écart inférieur à l'incertitude de simulation – voir cartographies suivantes).

Crue du 6 Novembre 2023, comparatif des niveaux d'eau après / avant curage :

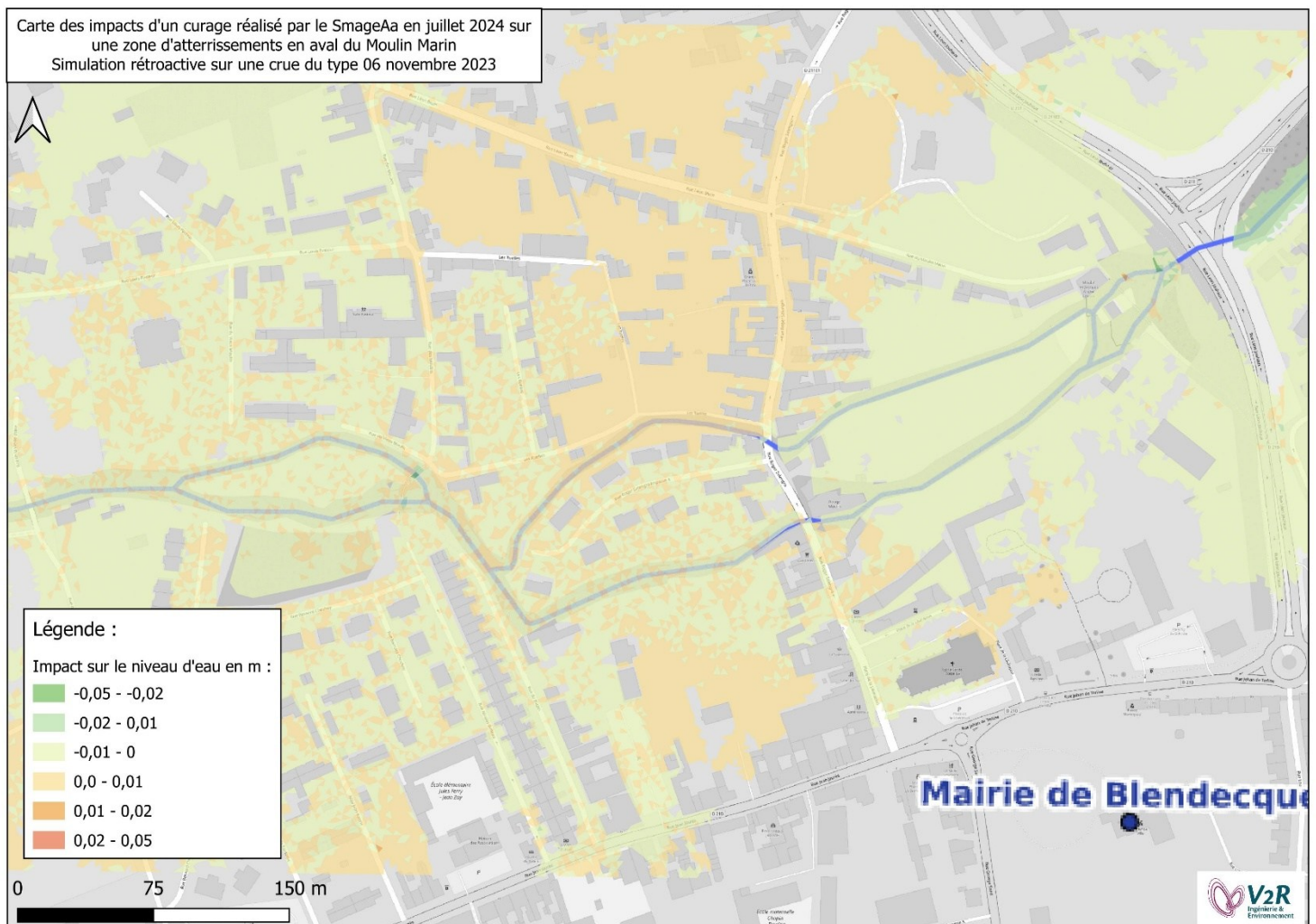


Figure 4-3 Effet du curage de la zone d'atterrissement fait en juillet 2024 en aval du Moulin Marin simulé rétroactivement pour la crue du 6 novembre 2023

Crue du 11 Novembre 2023, comparatif des niveaux d'eau après / avant curage :

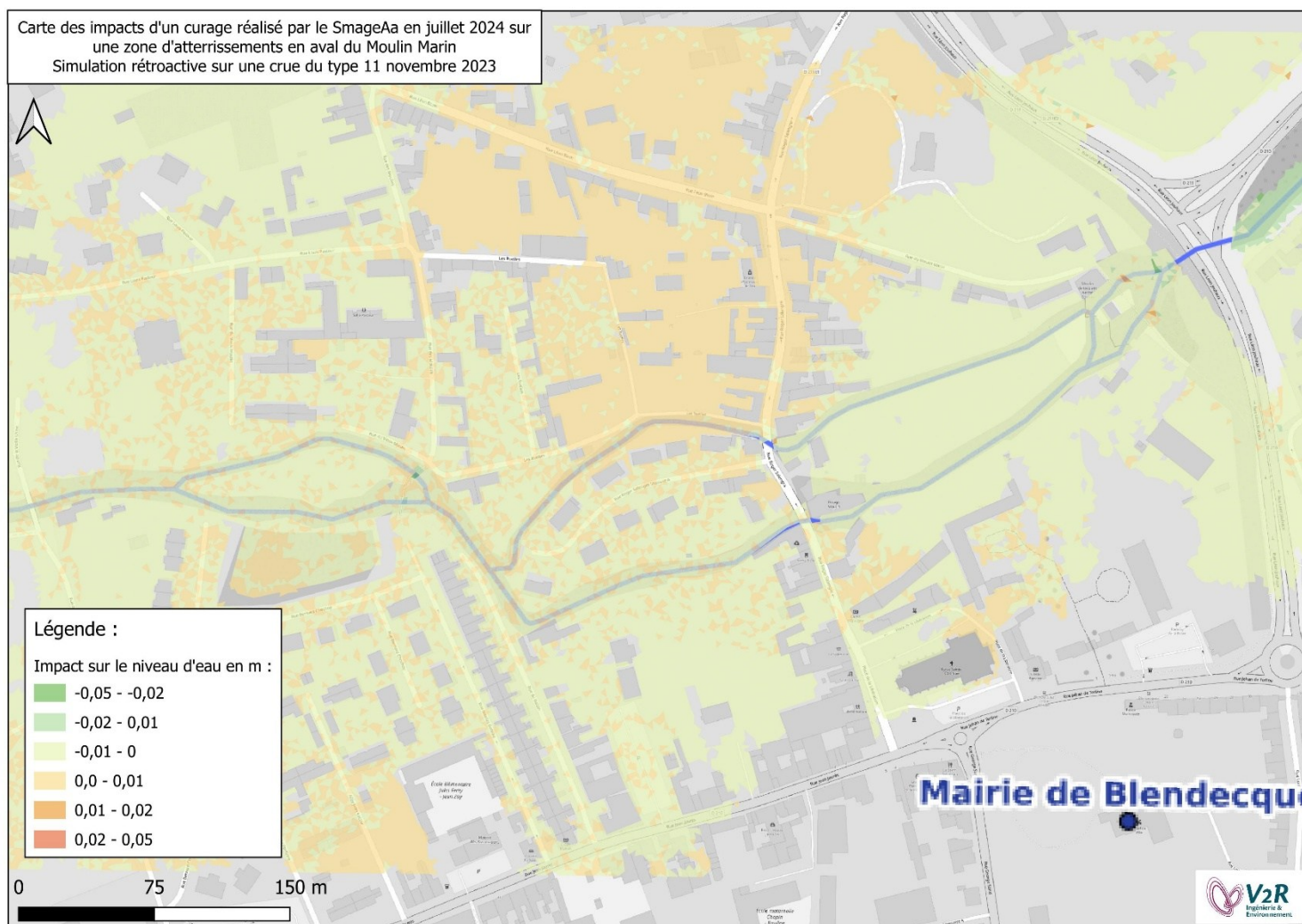


Figure 4-4 Effet du curage de la zone d'atterrissement fait en juillet 2024 en aval du Moulin Marin simulé rétroactivement pour la crue du 11 novembre 2023

4.5 Documentation utile

Le guide suivant fait référence pour la région :



Une majorité des cours d'eau du bassin Artois-Picardie a été modelée par l'Homme depuis le XI^{ème} siècle afin de répondre à ses besoins. Tant que le degré d'occupation des sols n'était pas trop élevé, la résilience de ces cours d'eau et de leur biodiversité était possible, et en cas de crues l'eau pouvait se déverser hors de son lit avec des dommages limités pour les biens et personnes. Aujourd'hui ce n'est plus le cas, et les épisodes d'inondations exceptionnelles par leur intensité et leurs dommages se succèdent sur notre bassin. Quel est le rôle de la gestion et de l'entretien des cours d'eau dans ces événements ?

Qui est responsable de quoi ?

La loi du 8 avril 1889 sur le régime et la répartition des eaux crée une distinction entre les cours d'eau domaniaux, en responsabilité pour la propriété et les usages de l'État, et les cours d'eau non domaniaux, en propriété jusqu'à la moitié du lit des riverains. Sur ceux-ci, le riverain a un droit de propriété et des droits d'usages, mais aussi des **devoirs**, dont l'entretien courant. Le code civil rappelle également, du point de vue hydraulique, que c'est bien le propriétaire du bien supérieur qui est responsable de ce qu'il envoie à l'aval, ce qui renvoie à la logique de bassin versant, avec une gestion concertée, pour les fossés comme pour les cours d'eau.



Gestion d'embâcles, CSYMCEA

Cours d'eau, canal, fossé, quelles différences ?

Il est parfois difficile sur le terrain de distinguer les cours d'eau et les fossés. Les aménagements hydrauliques historiques ont contribué à perdre la vocation et le fonctionnement naturel des cours d'eau. Avant toute intervention, il convient de s'assurer du statut auprès de l'État et de ses opérateurs, car les procédures à mener ne sont pas les mêmes.



La Créquoise © Anne-Cécile Monnier



© ADAP

Cours d'eau : naturel, il s'est formé en fonction de la géologie du territoire et a trouvé son profil d'équilibre (capacité naturelle à gérer et évacuer l'eau et les sédiments), résultant d'un creusement vertical réalisé et de la capacité à divaguer latéralement dans son lit majeur. Certains cours d'eau ont fait l'objet de modifications, pour la navigation notamment, et sont appelés en langage commun **rivières canalisées, canaux**, mais restent cependant des cours d'eau. Les cours d'eau, milieux de vie de la faune et flore aquatiques (habitats), sont concernés par des règles juridiques précises.

Fossés : créés par l'Homme pour drainer les sols et diriger les écoulements, ce sont des ouvrages hydrauliques d'évacuation des eaux. Dans les secteurs de plaine, le curage rétablissant leur fonctionnement initial est nécessaire mais ne doit pas aggraver le risque d'inondation vers l'aval. D'ailleurs, dans une logique de rétention des eaux à l'amont et d'infiltration / recharge des nappes, les fossés sont parfois aménagés à cette fin (redents) et végétalisés pour limiter les ruissellements érosifs et prévenir les inondations à l'aval.

Des **canaux artificiels** ont aussi été créés de toutes pièces pour des usages, dont la navigation, et modifient les écoulements naturels gravitaires.

L'entretien d'un cours d'eau, c'est quoi ?

L'entretien régulier est une obligation pour maintenir le cours d'eau dans son profil d'équilibre naturel, permettre l'écoulement naturel des eaux et contribuer au bon fonctionnement écologique.

Cela se traduit annuellement par les actions suivantes :

- **Entretien la végétation des rives** par élagage ou recépage, sans dessoucher (pour ne pas déstabiliser les berges) ;
- **Enlever les embâcles les plus gênants** (branches, troncs d'arbre) qui entravent la circulation naturelle de l'eau ;
- **Déplacer** ou enlever éventuellement **quelques petits atterrissements** localisés de sédiments, à condition de ne modifier sensiblement ni la forme ni le gabarit de la rivière ;
- **Faucher** et tailler éventuellement les végétaux se développant dans le lit du cours d'eau.

Dans le bassin Artois-Picardie, les collectivités ont fait le choix et se sont organisées pour gérer cet entretien des cours d'eau non domaniaux à la bonne échelle du bassin versant, le plus souvent en accompagnement des propriétaires riverains qui en restent responsables. Dans le cadre de PPRE (plans pluriannuels de restauration et d'entretien), qui couvrent aujourd'hui l'intégralité du bassin Artois-Picardie, elles vont au-delà de l'entretien courant en réalisant des opérations plus ambitieuses de restauration des cours d'eau. Elles bénéficient à ce titre d'un accompagnement technique et financier de l'Agence et des partenaires.

Ces actions se justifient aussi pour **prévenir les inondations** et correspondent globalement à la compétence GEMAPI.

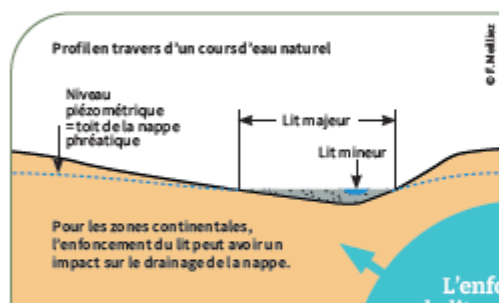
Et le curage ?

La lutte contre les inondations passe par l'infiltration de la goutte d'eau là où elle tombe, le ralentissement des écoulements, l'expansion des flux dans des **zones naturelles inondables**, la rétention et l'évacuation à l'aval puis à la mer sans risque pour les biens et les personnes. Les travaux hydrauliques ne peuvent se raisonner que globalement à l'échelle du bassin versant. Ainsi, si les opérations d'entretien (sans procédure administrative) ne posent pas de difficulté, un curage non maîtrisé aura pour conséquence d'accélérer les écoulements vers l'aval et de créer un déséquilibre hydraulique.

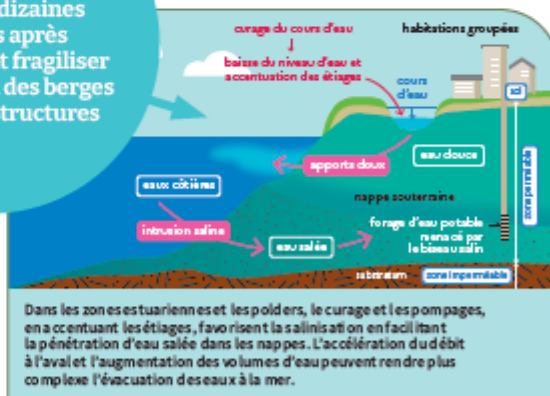


Collège de prospective Littorale du Parlement de la Mer
Lettre d'information de mars 2024.
Extrait : Entretien avec Francis MELLIEZ – Géologue

« En ce qui concerne les canaux et fossés construits par l'Homme, c'est vrai qu'ils ont été conçus pour organiser un écoulement dans une pente calculée. Ils doivent donc être libres de tout obstacle pour assurer leur fonction. Par contre, on ne cure pas un cours d'eau naturel : prétendre le contraire nie les acquis scientifiques et l'expérience transmise par les aïeux (<https://www.ofb.gouv.fr>). Reprenons le profil longitudinal : curer, c'est creuser le lit mineur en imaginant que si la lame d'eau est plus épaisse, l'évacuation sera plus facile. Mais c'est contraire à toute observation ! En creusant le lit mineur, certes on accueille un plus grand volume d'eau, mais surtout on relance l'érosion en amont : on crée un appel pour faire venir davantage d'alluvions ! Et donc on renvoie et aggrave le problème vers les voisins qui se trouvent à l'aval. Bon sens, calculs, connaissance et expériences démontrent que c'est une mauvaise solution. »



L'enfoncement du lit peut subsister plusieurs dizaines d'années après les travaux et fragiliser la végétation des berges et les infrastructures



Dans les zones estuariennes et les polders, le curage et les pompages, en accentuant les étiages, favorisent la salinisation en facilitant la pénétration d'eau salée dans les nappes. L'accélération du débit à l'aval et l'augmentation des volumes d'eau peuvent rendre plus complexe l'évacuation des eaux à la mer.

Illustration AQUA d'après © OFB/Réalisation Nathieu Nivresse (d'après OIE au), 2018 - modifié par AEAP, 2024

Le profil d'équilibre d'un cours d'eau s'appuie sur sa continuité sédimentaire : c'est l'élément clé de son fonctionnement. Les curages ont un impact potentiel très fort sur cette continuité : une continuité sédimentaire dégradée accélère les écoulements et impacte l'équilibre du cours d'eau avec de l'érosion et des risques de crues à l'aval.

Cependant, l'accélération des débits et l'augmentation des volumes d'eau à l'aval rendent complexe l'évacuation de l'eau à la mer tant gravitairement que par pompage. (NB : Le débit de crue à l'aval peut être multiplié par deux

du fait du recalibrage d'un cours d'eau - Wasson, Malavoï et al., 1998).

Sur les secteurs de plaine et pour les cours d'eau très modifiés par l'homme, le cours d'eau ne peut plus transporter naturellement la charge sédimentaire liée aux activités humaines. Pour maintenir les usages et éviter les inondations, le désenvasement s'avère nécessaire mais ne doit modifier ni le gabarit du cours d'eau ni sa pente. Le curage raisonné ou désenvasement du canal d'Hazebrouck intégré au PPRE de la Bourre/PAPI Lys peut être cité en exemple.

Au-delà de l'entretien, les actions de restauration écologique des cours d'eau permettent de lutter contre les inondations :

Les solutions pérennes de lutte contre les inondations passent par une approche concertée, où le fonctionnement naturel du cours d'eau est respecté. Elles sont une combinaison de différentes techniques :

- Lutte contre le ruissellement en milieu rural (mesures agronomiques, actions de réduction de l'érosion des terres agricoles) et en milieu urbain (désimperméabilisation, infiltration de l'eau à la parcelle...) : 50 à 70 % de l'eau d'un cours d'eau proviennent de la partie amont des bassins versants (têtes de bassins versants) ;
- Préservation du lit majeur (restauration de l'espace de bon fonctionnement (EBF) des cours d'eau, en particulier par la restauration du débordement latéral dans les zones naturelles d'expansion de crue et la reconnexion d'annexes alluviales au cours d'eau ;
- Préservation et restauration des zones humides, car connectées au cours d'eau : cela peut réduire significativement les débits de crue. Certaines zones humides peuvent ainsi stocker jusqu'à 15 000 m³ d'eau par hectare. (Convention de Ramsar, 2001).



Travaux de correction d'un curage et de restauration de l'espace de bon fonctionnement
© AEP



Restauration continuité écologique + remeandrage
© Artois-Picardie Montier

Restauration morphologique, écologique et sédimentaire des cours d'eau (remeandrage, restauration de continuité écologique...)



Recharge granulométrique
© Artois-Picardie

La restauration écologique des cours d'eau s'appuie sur des maîtres d'ouvrages, collectivités territoriales - notamment celles disposant de la compétence GEMAPI- les associations de propriétaires riverains, les structures de bassin versant dont les EPTB et les EPAGE du bassin, l'agence de l'eau et les Fédérations de pêche du bassin.

Ces maîtres d'ouvrage assurent la réalisation des plans pluri-annuels de restauration et d'entretien écologique qui définissent les travaux de restauration écologique et d'entretien courant.

Réglementairement autorisés, les travaux d'entretien courant sont réalisés soit directement par les propriétaires, soit pour leur compte par les maîtres d'ouvrage dédiés. Ces travaux bénéficient de l'appui technique des services de l'État (DDTM, DREAL) et de ses opérateurs, notamment l'Office Français de la Biodiversité (OFB). Les travaux de restauration écologique plus ambitieux visent à restaurer le fonctionnement naturel des cours d'eau, dans le double objectif de restaurer l'état écologique du cours d'eau et de prévenir les crues.

EPTB : Etablissement Public de Territoire à Bassin ; EPAGE : Etablissement Public de Bassin ; Artois-Picardie : Agence de l'Eau Artois-Picardie

L'Agence de l'Eau Artois-Picardie vous accompagne !

La gestion écologique des cours d'eau est une démarche prioritaire dans le bassin Artois-Picardie qui contribue à la prévention des inondations. Elle s'inscrit dans les objectifs de bon état de nos rivières. En milieu rural ou urbain, elle constitue un véritable projet de territoire qui concilie la restauration de rivières vivantes et de leur biodiversité, les services économiques, hydrauliques, paysagers, touristiques et de loisirs, dans le respect du patrimoine bâti.

L'Agence de l'Eau Artois-Picardie engage chaque année près de 15,8 M€ d'aides pour les travaux de gestion des cours d'eau et de préventions des inondations.



AGENCE DE L'EAU ARTOIS-PICARDIE
www.agissons-pour-leau.fr www.eau-artois-picardie.fr



mai 2024

4.6 Conclusion

Le curage ne constitue pas une mesure efficace pour abaisser les niveaux d'eau lors des crues importantes. Son impact est très limité dans l'espace et le temps, ne concerne que certains contextes très spécifiques et peut augmenter le risque d'inondation en aval.

Il ne peut pas être une solution technique proposée seule, doit être étudié et simulé au cas par cas, et ne remplace en aucun cas une politique globale de gestion du lit majeur et de réduction du ruissellement.

Voici des alternatives au curage qui sont plus efficaces, fondées sur la nature et plus durables et respectueuses de l'écosystème :

1- La Restauration Morphologique du cours d'eau :

Plutôt que de creuser le fond, on cherche à redonner à la rivière sa capacité d'**autocurage**.

- **La suppression des lits mineur perchés** : en remettant les portions de cours d'eau perchées dans le fond topographique réel, cela augmente la diversité des vitesses d'écoulements du cours d'eau et augmente la pression hydrostatique sur l'écoulement en lit mineur pendant les crues, ce qui favorise l'autocurage.
- **Le reméandrage** : redonner des courbes à une rivière rectifiée augmente la diversité des vitesses d'eau. Les zones de courant plus forts nettoient naturellement le fond, la variété des écoulements permet de réduire la longueur des zones de dépôts de sédiments, au contraire d'un long linéaire rectiligne homogène.

2- La Gestion à la Source, agir dès l'amont du bassin versant :

L'envasement est souvent le résultat d'une érosion excessive des sols agricoles environnants :

- **Les zones tampons et haies, les bandes enherbées,... Tous les ouvrages d'hydraulique douce** : planter des bandes enherbées ou des haies entre les champs et la rivière permet de filtrer les sédiments avant qu'ils n'atteignent l'eau.
- **Les prairies** : les prairies ralentissent fortement les écoulements, réduisent très fortement le risque d'érosion et donc les quantités de sédiments qui arrivent dans le cours d'eau en aval.

3- L'Entretien doux de la ripisylve :

- **La gestion de la végétation rivulaire (ripisylve)** : au lieu de tout curer, on pratique un élagage sélectif. On retire uniquement les embâcles (amas de bois) qui posent un risque réel d'inondation, tout en laissant ceux qui créent des zones de courant bénéfiques.
- **Le faucardage raisonné** : si l'envasement est dû à une prolifération de plantes aquatiques, on coupe ces plantes sans toucher au sédiment, ce qui préserve la microfaune du fond.

4- La Restauration du lit majeur, de la mobilité latérale et des Zones d'Expansion de Crue (ZEC)

Plutôt que de vouloir faire passer plus d'eau en creusant le lit (ce qui accélère le flux et déplace le problème d'inondation vers l'aval), on redonne de l'espace à la rivière. En abaissant les berges par endroits, on laisse

l'eau déborder dans des prairies inondables. Cela ralentit le courant et permet aux sédiments de se déposer dans les champs (où ils servent de fertilisant) plutôt que d'encombrer le lit de la rivière.

Pourquoi est-ce plus efficace ?

Le curage crée un déséquilibre : la rivière cherche naturellement à retrouver son profil d'équilibre et va « combler » le trou créé par le curage très rapidement, dès les premières petites crues, via une érosion accrue en amont (érosion « régressive », notamment du fond et des berges).

Les solutions fondées sur la nature, bien que plus longues à mettre en place, sont souvent **auto-entretenues** par la dynamique de l'eau elle-même.

5. RESTAURATION DES ANCIENS MOULINS ET EXPLOITATION DES MOULINS ACTUELS POUR RALENTIR LES CRUES

5.1 Principe de l'aménagement

Cet aménagement consiste à :

- Exploiter les moulins de manière à fermer leurs vannes lors des crues afin de ralentir la propagation des crues et de stocker l'eau en amont des moulins.
- Restaurer d'anciens moulins et vannages (démantelés par le passé) afin d'augmenter le nombre d'ouvrages permettant d'effectuer cette procédure.

La liste complète des ouvrages concernés, définie en concertation entre le SmageAa et le groupement V2R/DHI, figure en Annexe 1. Un fichier *.shp est également joint pour permettre de localiser ces aménagements.

5.2 Méthode d'analyse

Les ouvrages concernés ont été intégrés au modèle hydraulique et la crue de novembre 2023 a été simulée.

On peut distinguer trois typologies d'ouvrages :

- **Les ouvrages vannés existants** : ceux-ci avaient déjà été intégrés au modèle hydraulique lors de la phase 1 sur la base des plans topographiques disponibles. Seule la position des vannes a été modifiée ;
- **Les ouvrages existants non vannés** : des vannes ont été ajoutées dans la modélisation, avec une hauteur de 2 m lorsqu'aucun autre ouvrage vanné n'est présent à proximité, ou avec une hauteur comparable à celles des vannages situés à moins de 500 m de distance lorsqu'ils existent.
- **Les ouvrages démantelés** : ces ouvrages ont été repositionnés et reconstitués dans la modélisation à partir d'anciennes fiches ouvrages. Lorsque ces documents précisaient les dimensions des vannes, celles-ci ont été restituées conformément aux informations disponibles. Dans le cas contraire, la hauteur des vannes retenue est de 2 m en l'absence d'ouvrage vanné à proximité, ou comparable à celle des vannages situés à moins de 500 m lorsqu'ils existent..

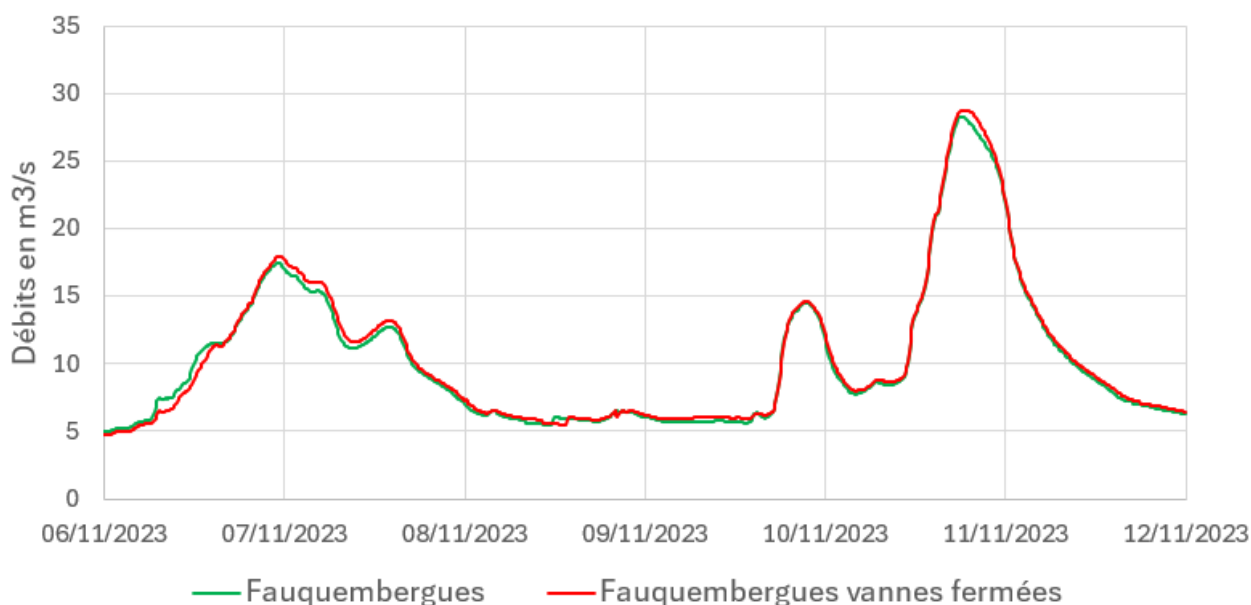
Deux simulations ont été effectuées :

- Une simulation avec les vannes de tous les ouvrages concernés fermées ;
- Une simulation avec les vannes de tous les ouvrages concernés ouvertes.

5.3 Résultats de l'analyse

Sur les débits :

Effets de l'ajout de moulins et de la fermeture des vannes sur les débits en 2023 : Fauquembergues



Effets de l'ajout de moulins (vannes ouvertes) sur les débits en 2023 : Fauquembergues

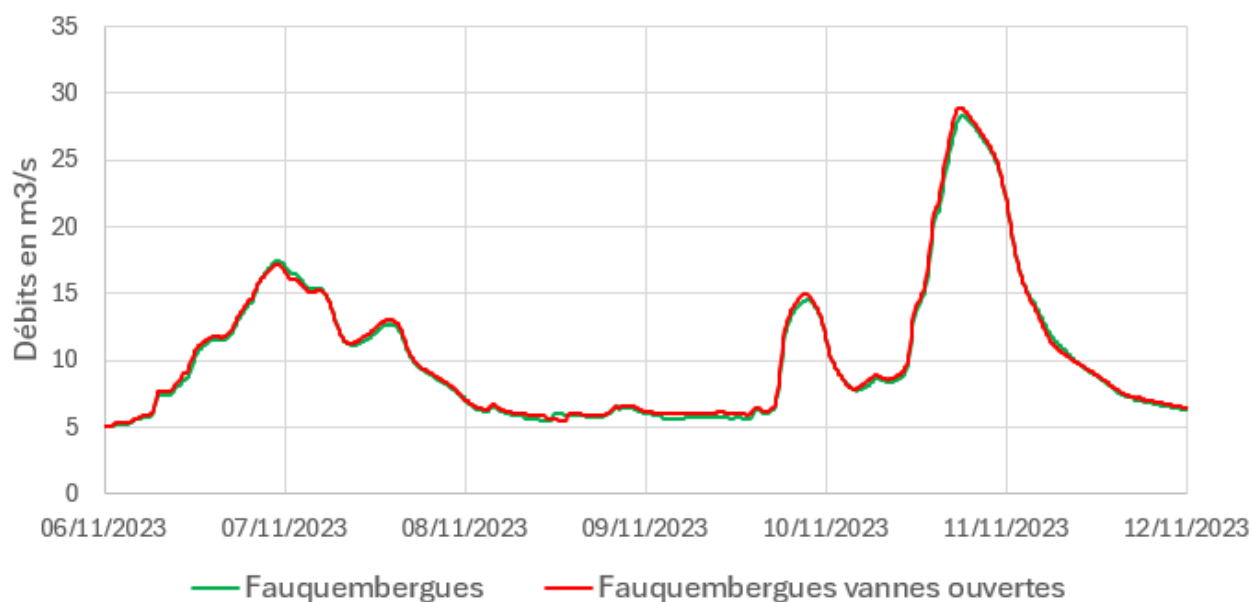
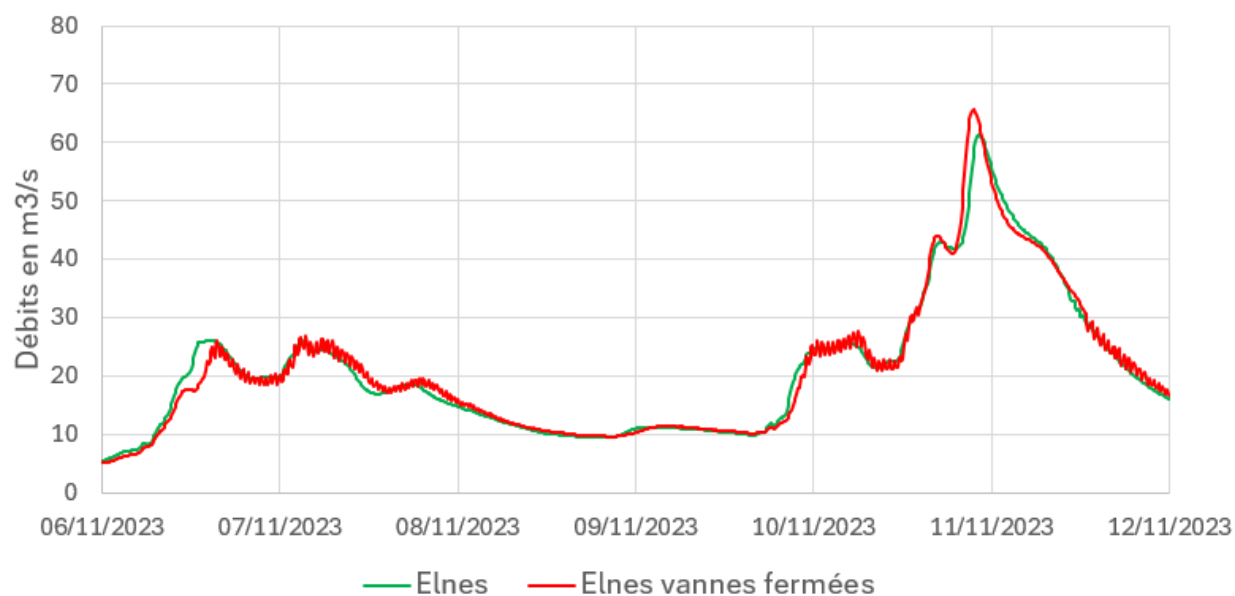


Figure 5-1 Incidences de l'ajout de moulins (vannes ouvertes et vannes fermées) sur les débits de la crue de 2023 à Fauquembergues

Effets de l'ajout de moulins et de la fermeture des vannes sur les débits en 2023 : Elnes



Effets de l'ajout de moulins (vannes ouvertes) sur les débits en 2023 : Elnes

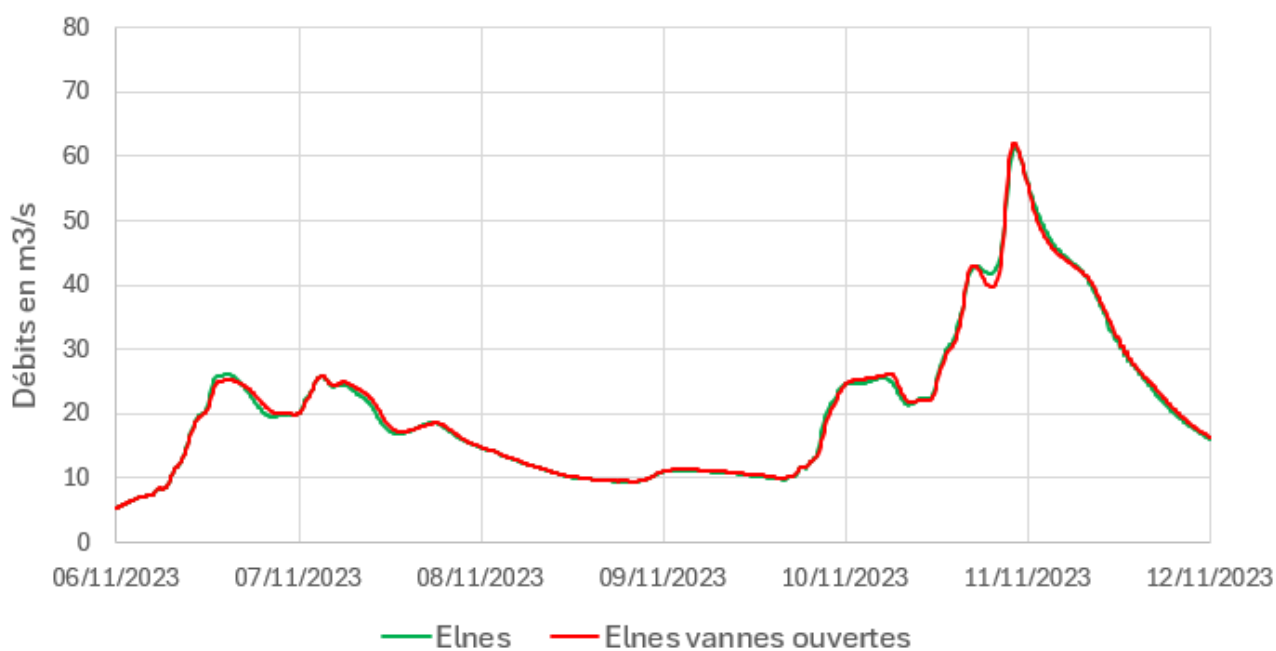
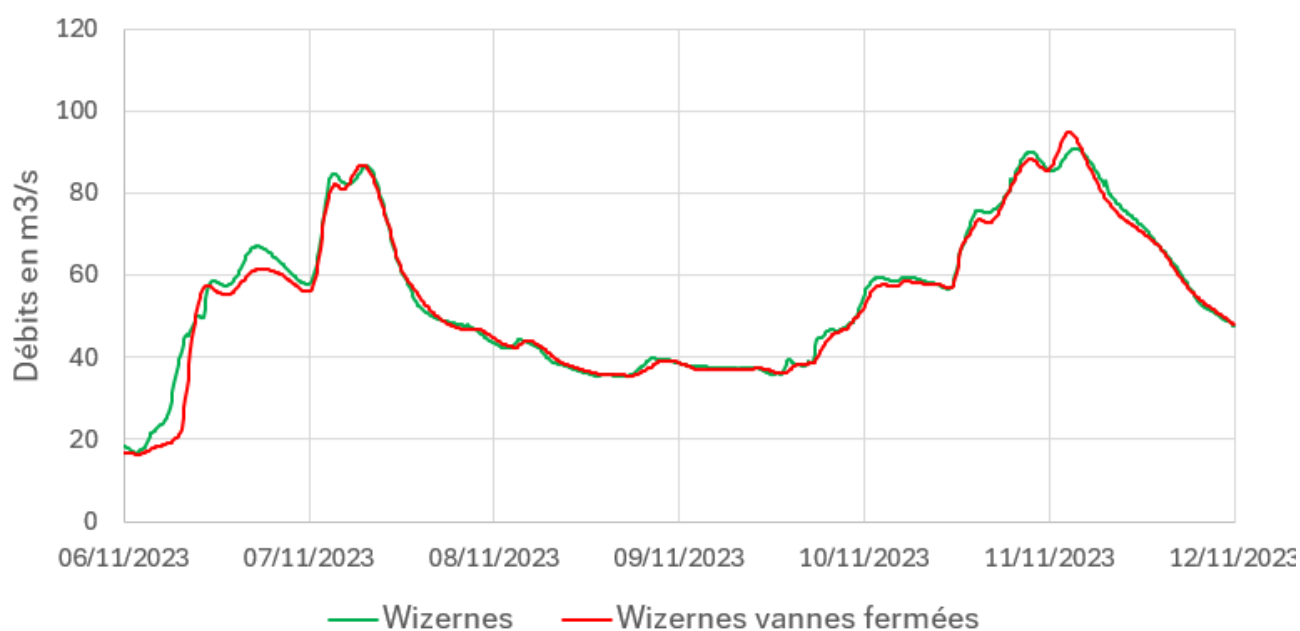


Figure 5-2 Incidences de l'ajout de moulins (vannes ouvertes et vannes fermées) sur les débits de la crue de 2023 à Elnes

Effets de l'ajout de moulins et de la fermeture des vannes sur les débits en 2023 : Wizernes



Effets de l'ajout de moulins (vannes ouvertes) sur les débits en 2023 : Wizernes

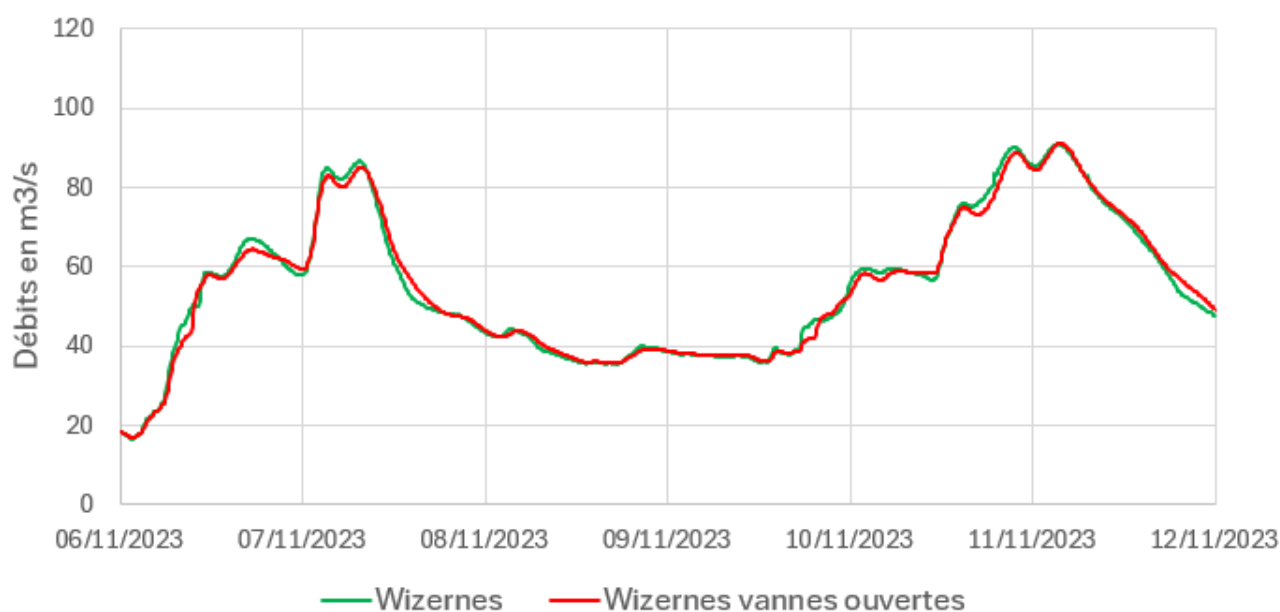


Figure 5-3 Incidences de l'ajout de moulins (vannes ouvertes et vannes fermées) sur les débits de la crue de 2023 à Wizernes

Note : Les débits à la station de Lumbres ne sont pas présentés car ils sont identiques entre la situation actuelle et la situation avec ajout de moulins (vannes fermées comme vannes ouvertes).

De manière généralisée, sur l'Aa, l'ajout de moulins a pour effet :

- De retarder la montée de la première crue (6 et 7 novembre 2023) ;
- D'augmenter les débits de pointes lorsque les vannes sont fermées (de 4 m³/s à Elnes et de 3.5 m³/s à Wizernes) le 11 novembre. Cette augmentation s'explique par le fait que retarder la pointe de crue de l'Aa la rend davantage concomitante avec d'autres affluents de l'Aa pour cette crue particulière. Les moulins ajoutés avec des vannes ouvertes ne ralentissent pas suffisamment l'onde de crue pour que cet effet se produise.

Ainsi, **les volumes stockés grâce à l'ajout de moulins ne sont pas suffisant pour permettre l'écrêtement des débits de pointe.**

Ouve-Wirquin

A Ouve-Wirquin, toutes vannes fermées :

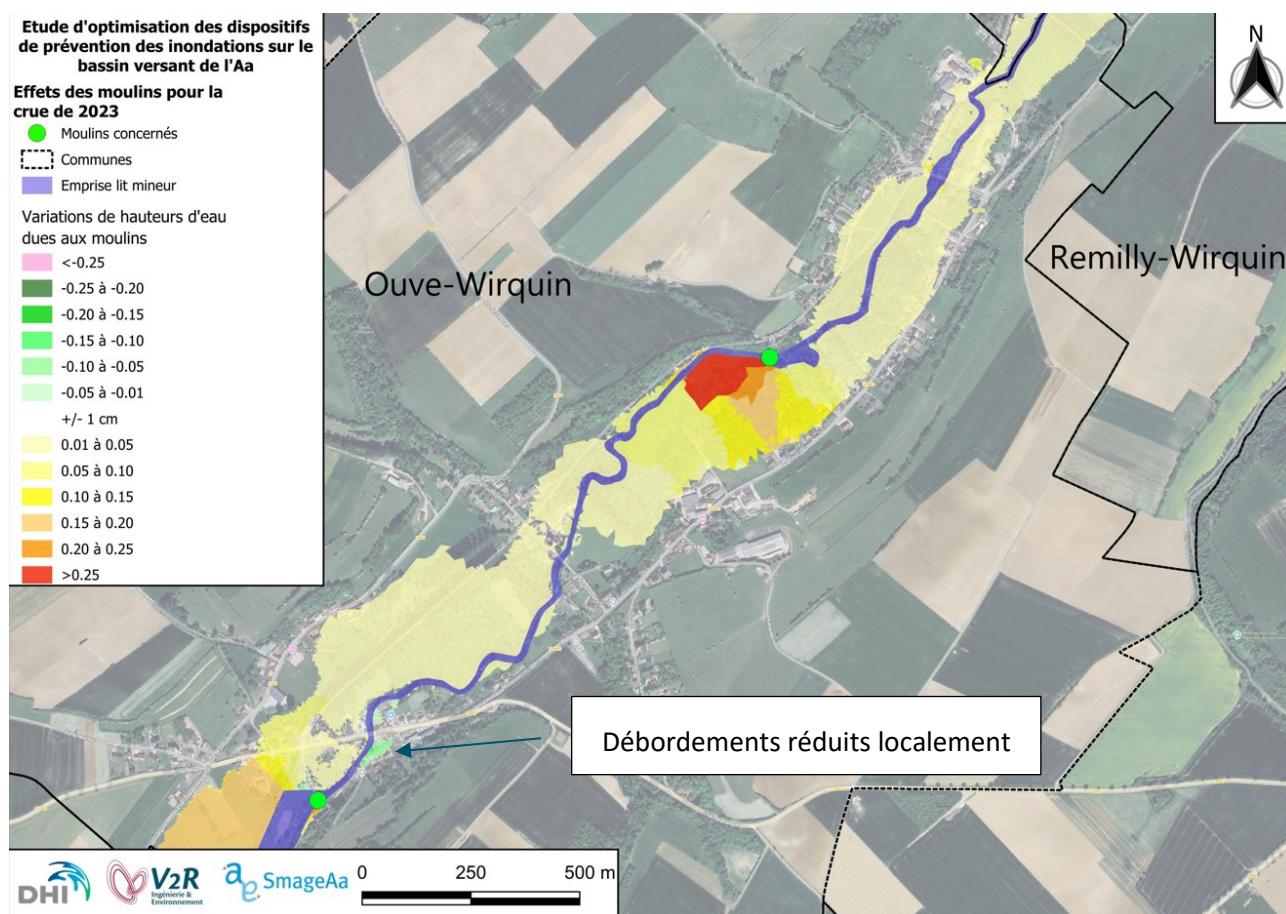


Figure 5-4 Incidences de l'ajout de moulins toutes vannes fermées sur les hauteurs d'eau maximales pour l'évènement de 2023 à Ouve-Wirquin

A Ouve-Wirquin, la fermeture des vannes de l'ouvrage située au sud-ouest a pour effet d'aggraver les débordements en rive gauche (y compris dans des zones habitées). La réduction du débit en lit mineur a bien pour effet de diminuer les débordements en rive droite en aval immédiat de l'ouvrage, mais cela se fait au détriment d'autres zones habitées.

La fermeture des vannes du second ouvrage aggrave les inondations de manière plus importante, y compris dans les zones habitées. Aucune réduction des inondations n'est générée par cet ouvrage.

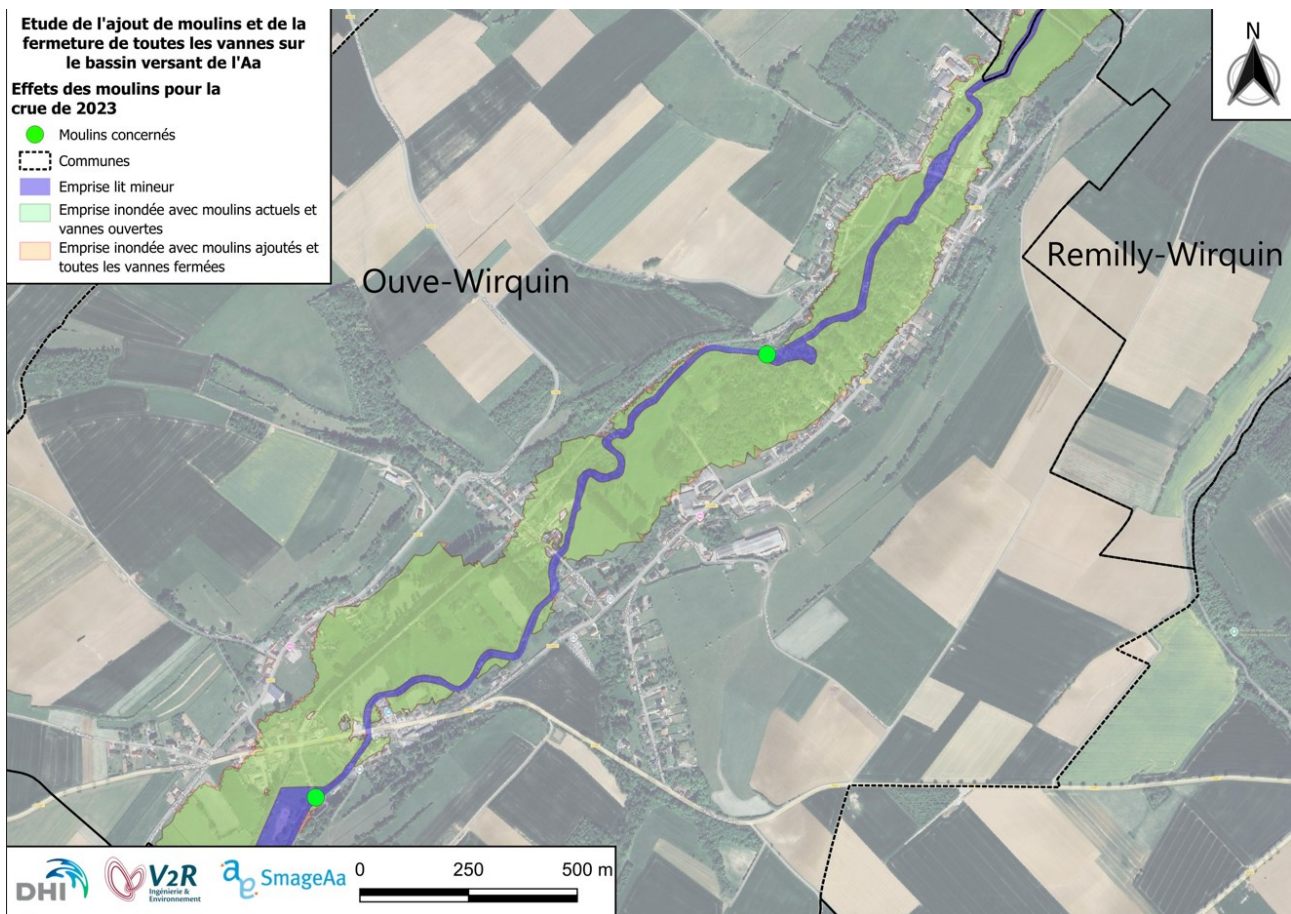


Figure 5-5 Incidences de l'ajout de moulins toutes vannes fermées sur les étendues d'eau maximales pour l'évènement de 2023 à Ouve-Wirquin

En termes d'embrises inondées, la fermeture des vannes augmente légèrement l'embrise inondée globale.

A Ouve-Wirquin, toutes vannes ouvertes :

Rajouter des ouvrages vannés en lit mineur implique de créer des infrastructures permettant de manœuvrer les vannes, ce qui réduit toujours la section d'écoulement, même lorsque les vannes sont ouvertes.

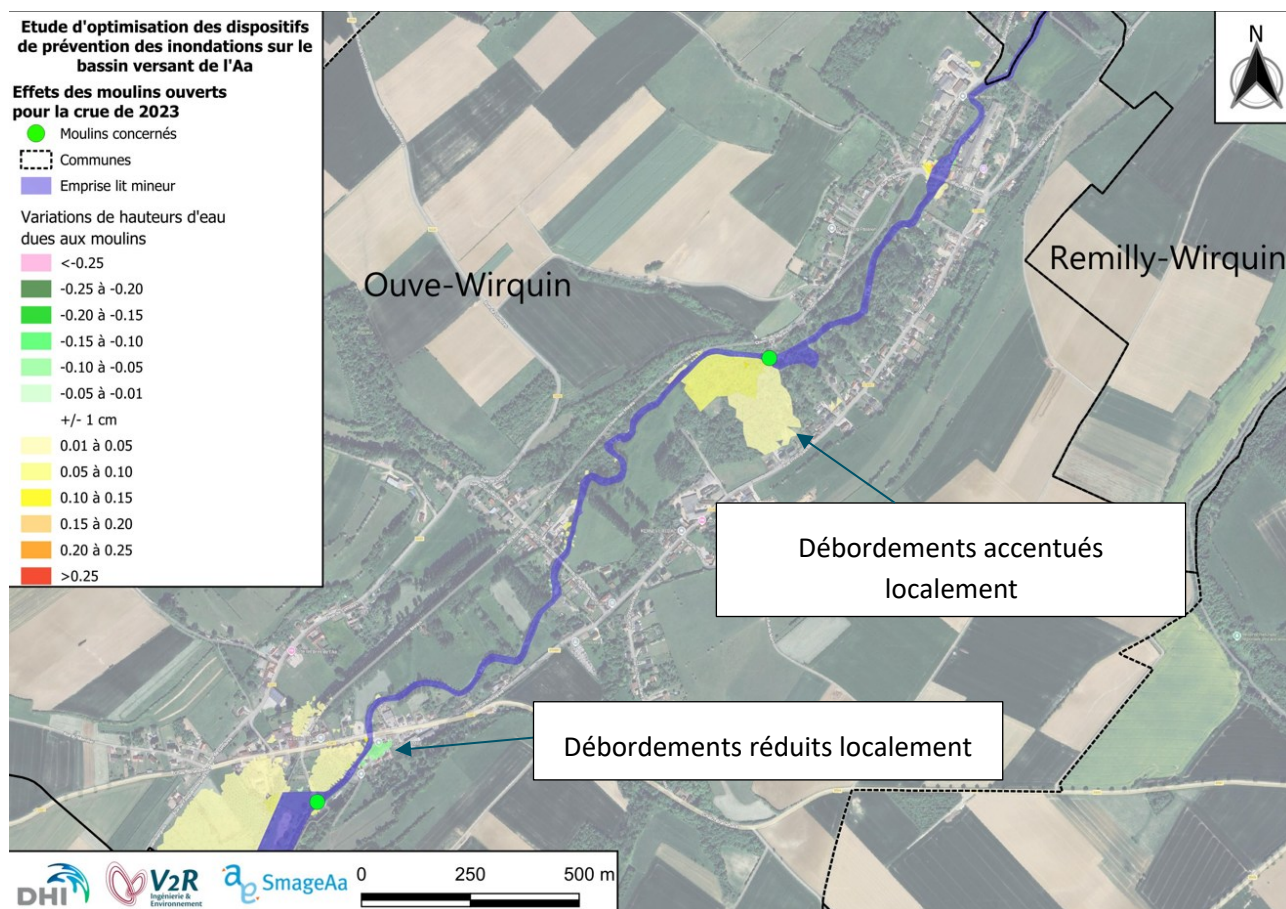


Figure 5-6 Incidences de l'ajout de moulins toutes vannes ouvertes sur les hauteurs d'eau maximales pour l'évènement de 2023 à Ouve-Wirquin

A Ouve-Wirquin, l'ajout de l'ouvrage situé au sud-ouest a pour effet d'aggraver les débordements en rive gauche (y compris dans des zones habitées). La réduction du débit en lit mineur a pour effet de diminuer les débordements en rive droite en aval de l'ouvrage, mais cela se fait au détriment d'autres zones habitées.

L'ajout du second ouvrage augmente les débordements dans des zones sans enjeux.

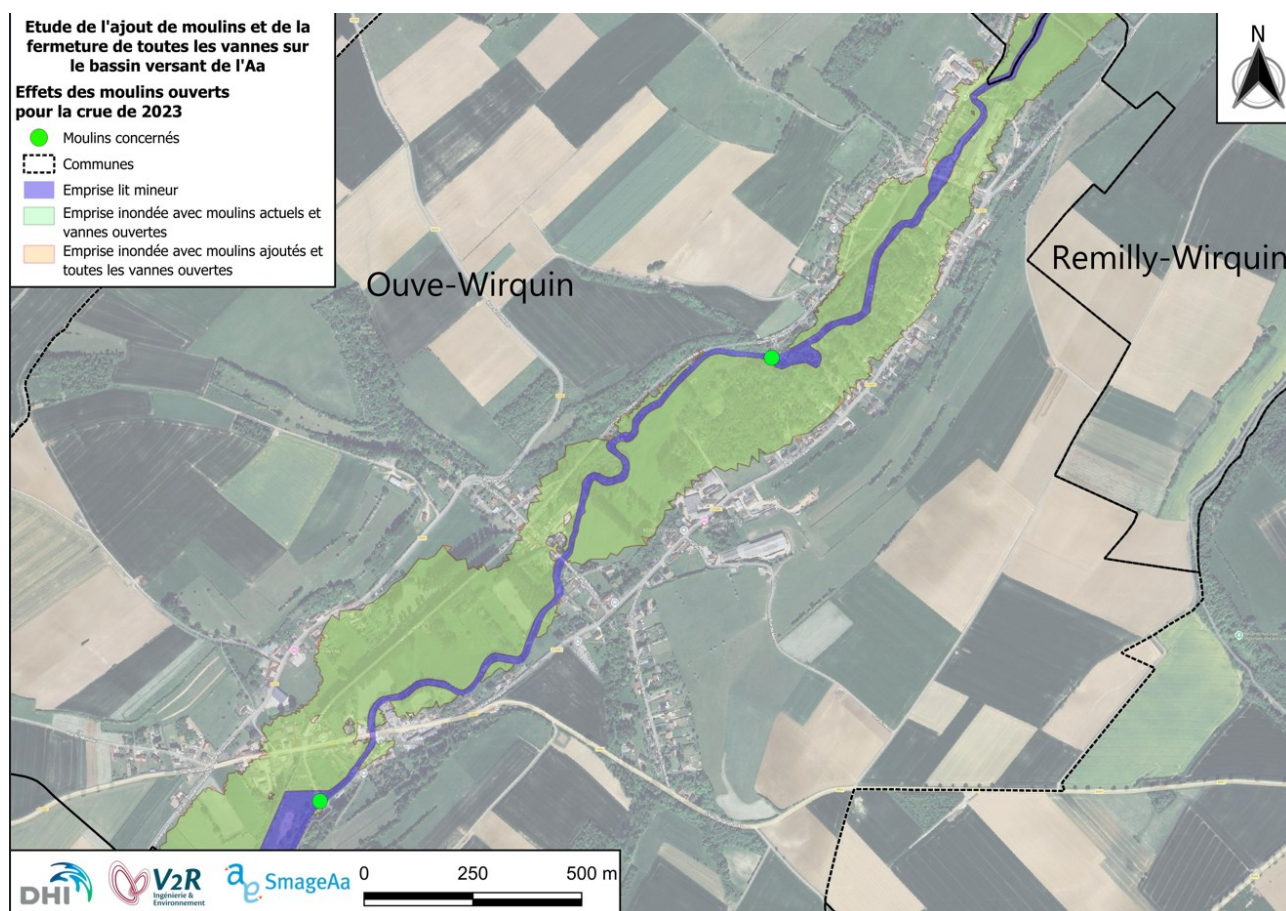


Figure 5-7 Incidences de l'ajout de moulins toutes vannes ouvertes sur les étendues d'eau maximales pour l'évènement de 2023 à Ouve-Wirquin

En termes d'emprises inondées, l'ajout de moulins augmente très légèrement l'emprise inondée.

Résumé sur Ouve-Wirquin :

Sur le secteur d'Ouve-Wirquin, l'ajout de moulins entraîne une augmentation des débordements en rive dans des zones à enjeux, et ceci de façon significative lorsque les vannes sont fermées. Cet aménagement ne permet donc pas de réduire de manière notable les débordements et ne constitue pas une solution pertinente pour réduire les inondations provoquées par une crue de ce type.

Wizernes

A Wizernes, toutes vannes fermées :

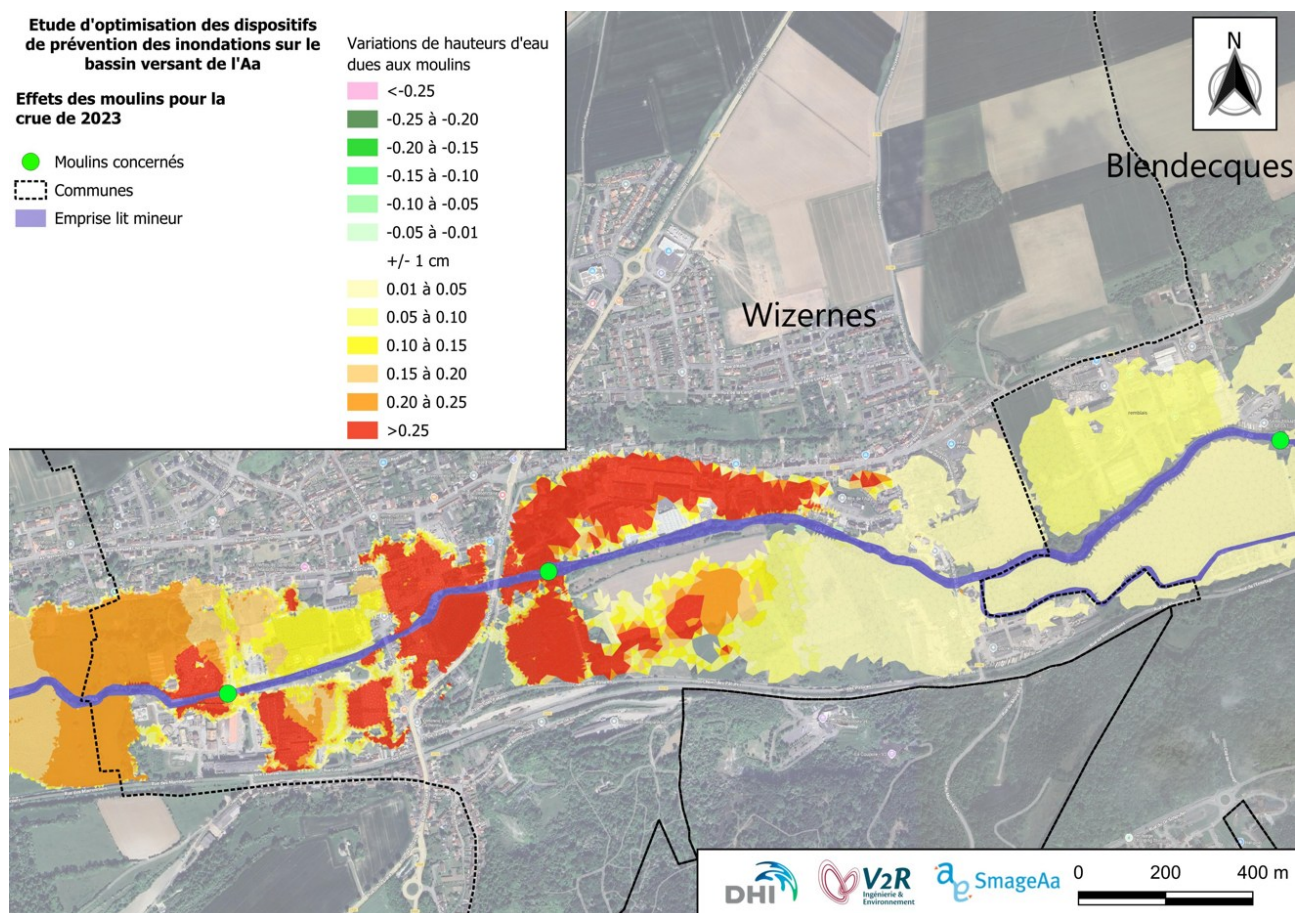


Figure 5-8 Incidences de l'ajout de moulins toutes vannes fermées sur les hauteurs d'eau maximales pour l'évènement de 2023 à Wizernes

A Wizernes, la fermeture des vannes empêche le bon écoulement des crues dans le lit mineur et génère donc une forte augmentation des débordements sur les deux rives (de plus de 25 cm sur une surface habitée conséquente). Aucune réduction des inondations n'est générée par la fermeture des vannes.

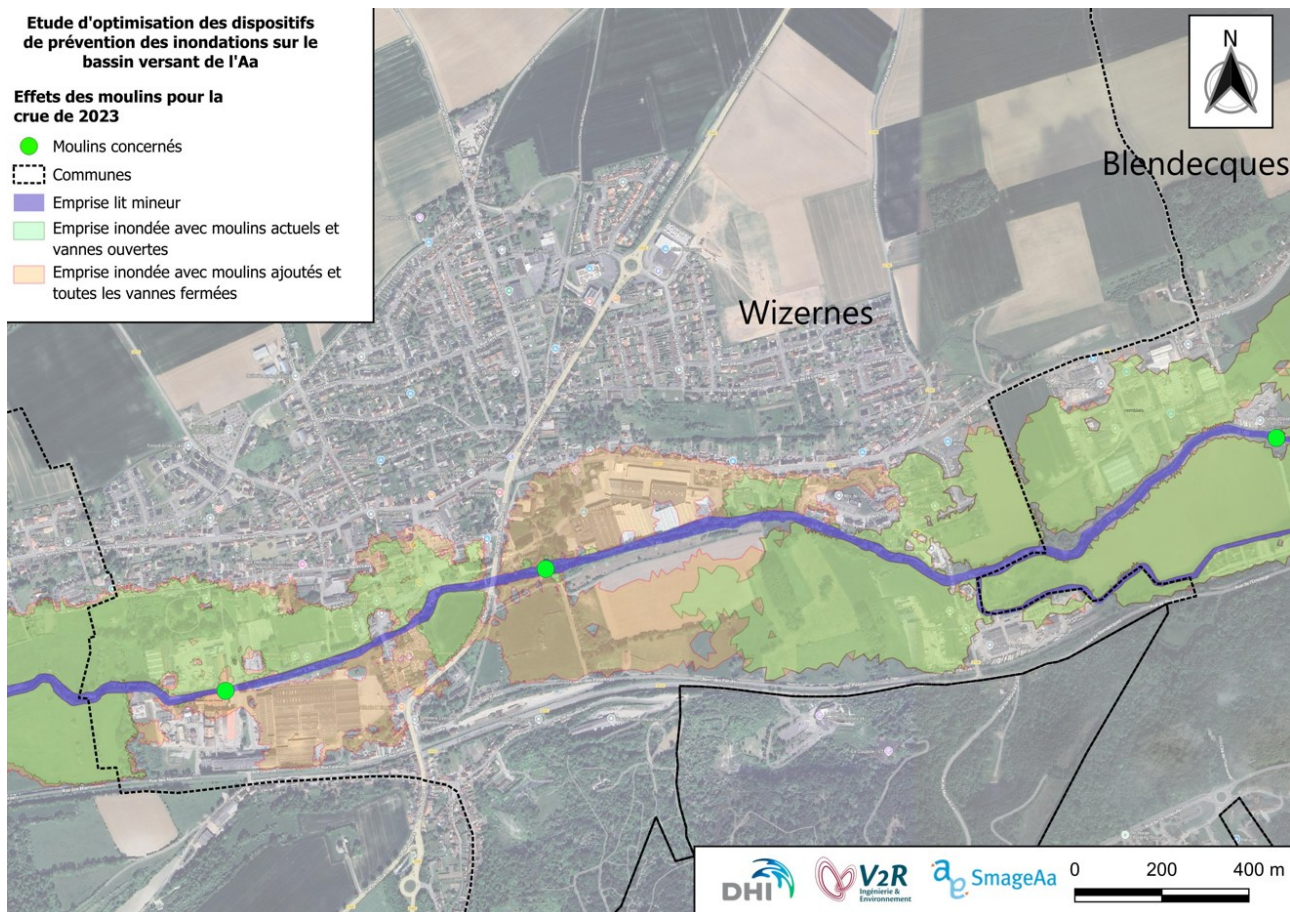


Figure 5-9 Incidences de l'ajout de moulins toutes vannes fermées sur les étendues d'eau maximales pour l'évènement de 2023 à Wizernes

En termes d'emprises inondées, la fermeture des vannes agrandit sensiblement l'emprise inondée en rive droite pour le premier ouvrage, et sur les deux rives pour le second ouvrage.

A Wizernes, toutes vannes ouvertes :

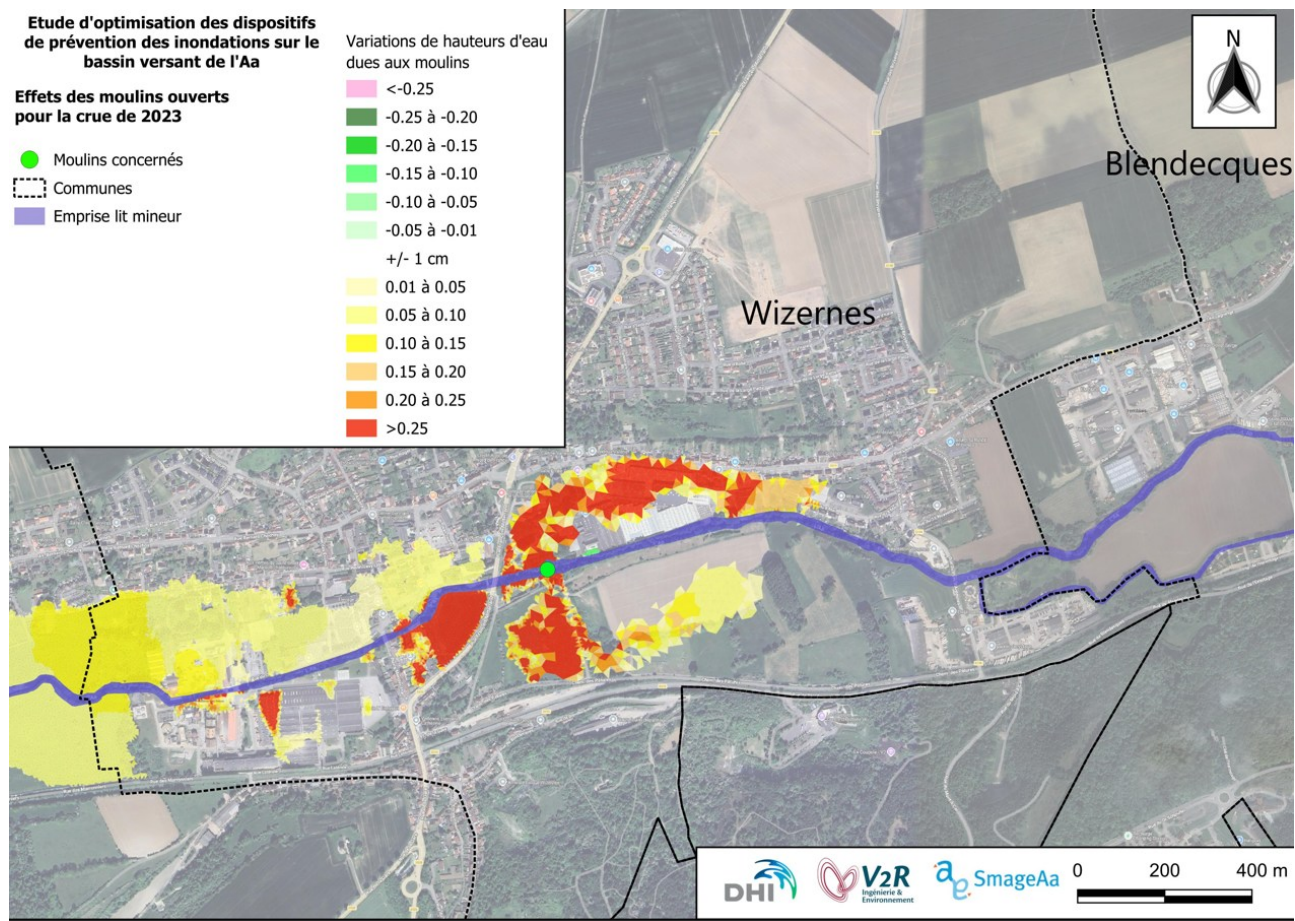


Figure 5-10 Incidences de l'ajout de moulins toutes vannes ouvertes sur les hauteurs d'eau maximales pour l'évènement de 2023 à Wizernes

A Wizernes, l'ajout d'un moulin empêche le bon écoulement des crues dans le lit mineur et génère donc une forte augmentation des débordements sur les deux rives (de plus de 25 cm sur une surface habitée). Aucune réduction des inondations n'est générée par l'ajout du moulin localement.

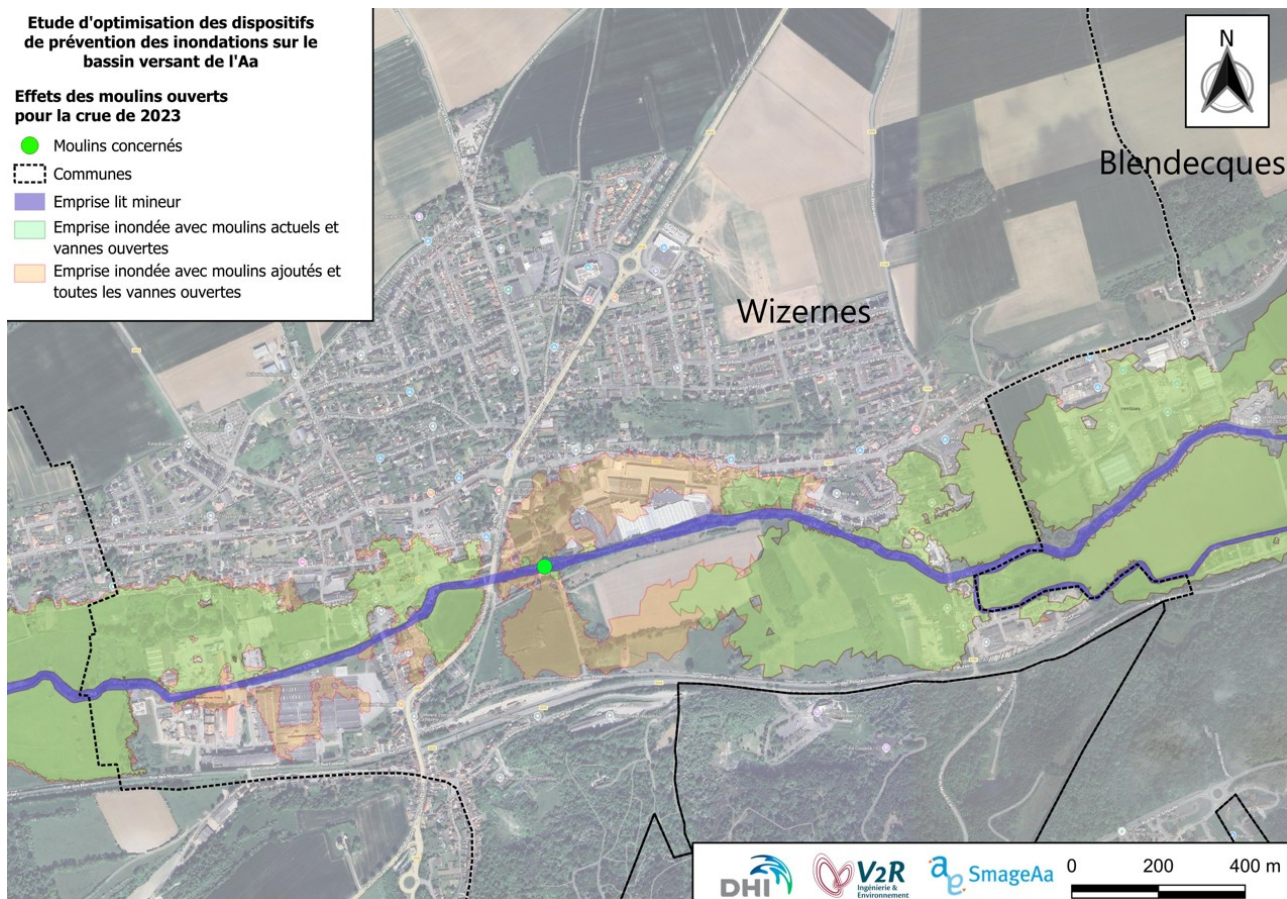


Figure 5-11 Incidences de l'ajout de moulins toutes vannes ouvertes sur les étendues d'eau maximales pour l'évènement de 2023 à Wizernes

En termes d'emprises inondées, l'ajout du moulin agrandit sensiblement l'emprise inondée sur les deux rives à proximité de l'ouvrage.

Résumé sur Wizernes :

Sur le secteur de Wizernes, l'ajout de moulins entraîne une augmentation des débordements dans des zones à enjeux, sans contrepartie positive à l'échelle locale. Cet aménagement ne constitue donc pas une solution pertinente pour réduire les inondations lors d'une crue de ce type.

A Blendecques, toutes vannes fermées :

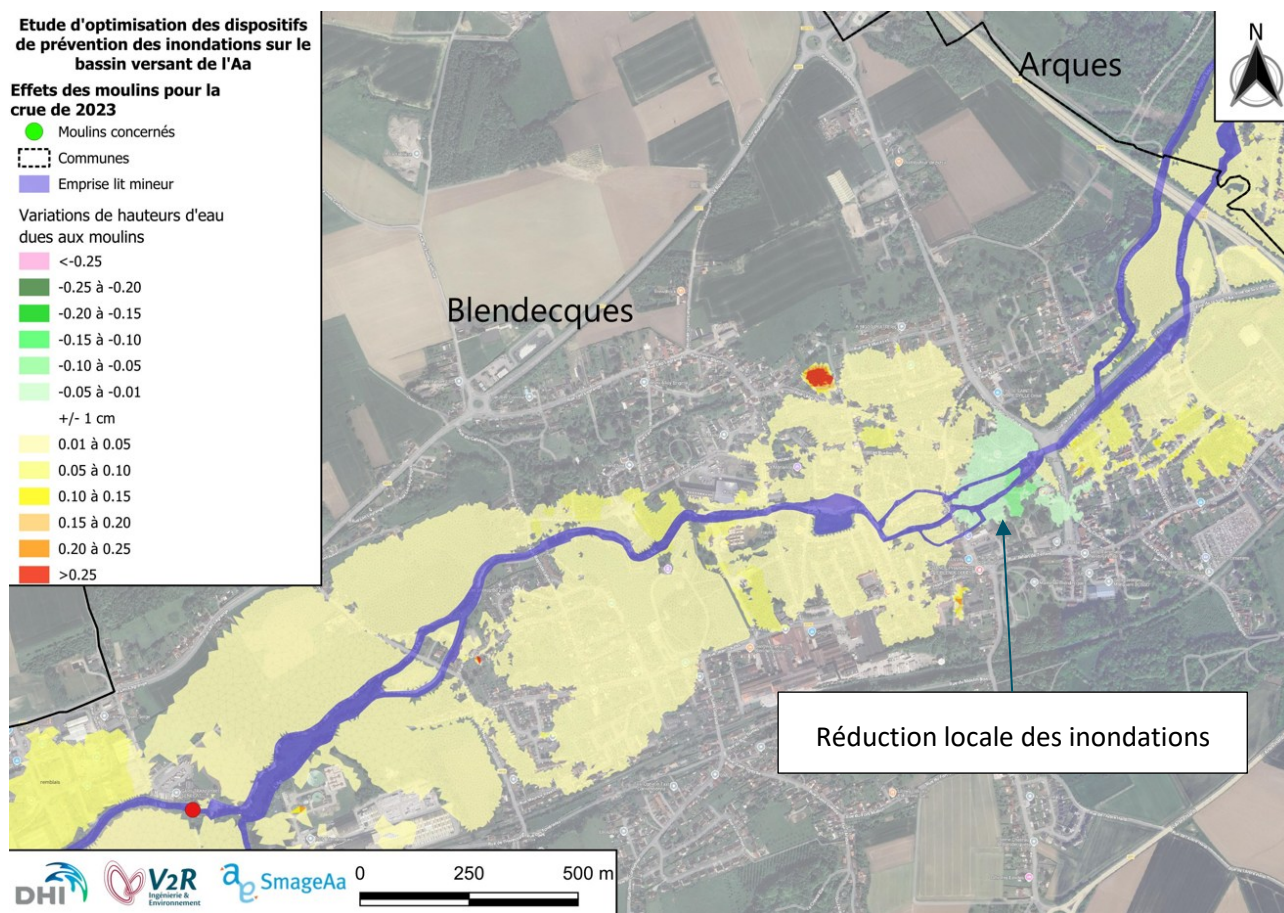


Figure 5-12 Incidences de l'ajout de moulins toutes vannes fermées sur les hauteurs d'eau maximales pour l'évènement de 2023 à Blendecques

A Blendecques, la fermeture des vannes de l'ouvrage en amont a pour effet d'aggraver les débordements qui se propagent ensuite en ville.

Par ailleurs, l'ajout des moulins avec fermeture des vannes sur l'ensemble du bassin versant ralentit globalement la propagation de l'onde de crue de l'Aa, ce qui a pour effet sur les débits (voir Figure 5-3 p40) :

- D'augmenter le débit de pointe de 3.5 m³/s car l'Aa, après ralentissement, est davantage concomitante avec plusieurs affluents pour cette crue ;
- De diminuer les volumes débordés car la période de forts débits est écourtée à Wizernes du fait du ralentissement global de la crue.

C'est cette diminution des volumes débordés qui explique la réduction locale des inondations en aval. En effet, à cet endroit, les eaux de débordements s'accumulent et s'évacuent progressivement vers l'Aa (qui est plus basse). Ainsi, les niveaux d'eau à cet endroit sont davantage conditionnés par les volumes que par le débit de pointe.

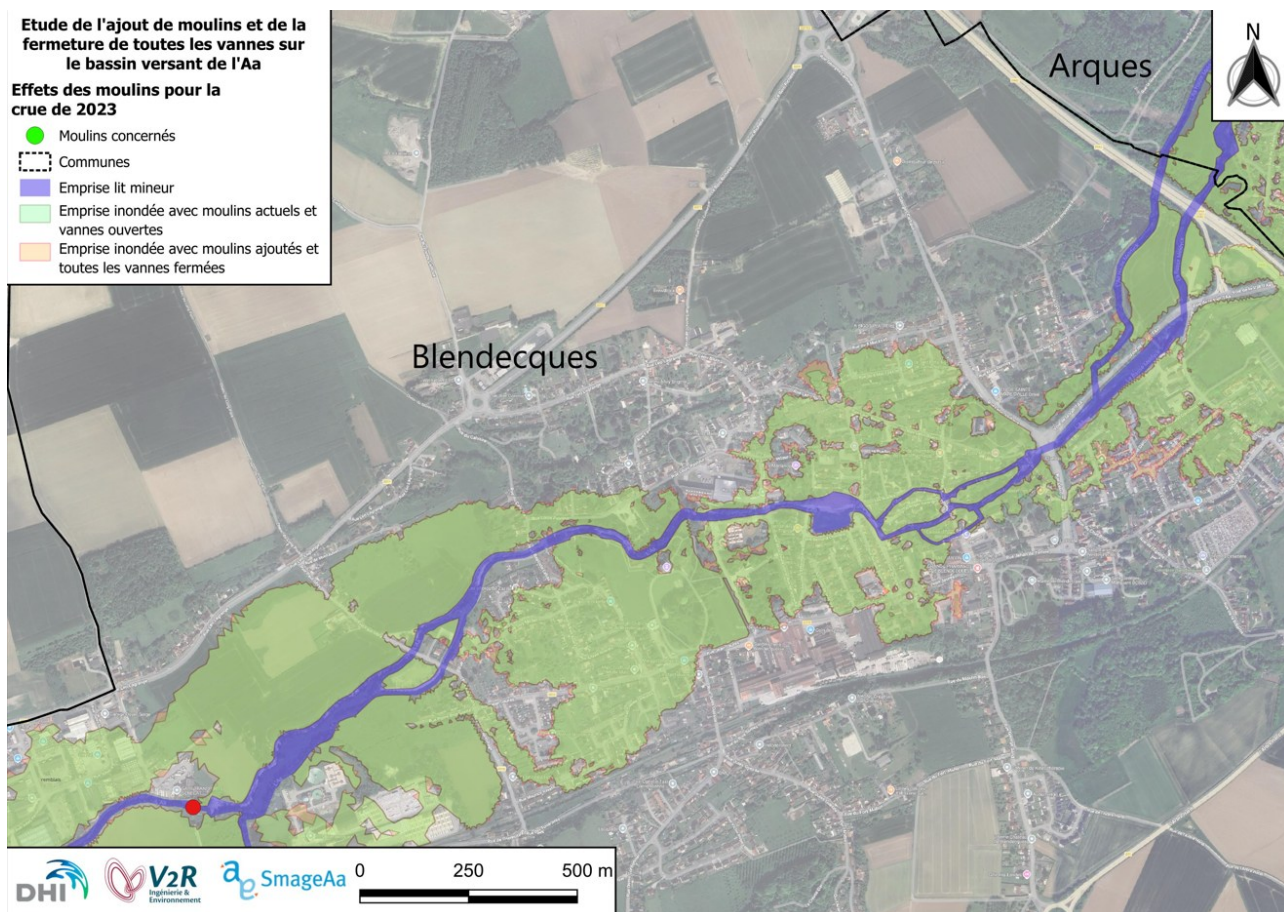


Figure 5-13 Incidences de l'ajout de moulins toutes vannes fermées sur les étendues d'eau maximales pour l'évènement de 2023 à Blendecques

En termes d'emprises inondées, la fermeture des vannes augmente bien l'emprise inondée globale.

A Blendecques, toutes vannes ouvertes :

Aucun ouvrage n'a été rajouté sur ce secteur, les différences observées en matière d'inondation s'expliquent par les effets des ouvrages situés plus en amont sur les débits et volumes débordés.

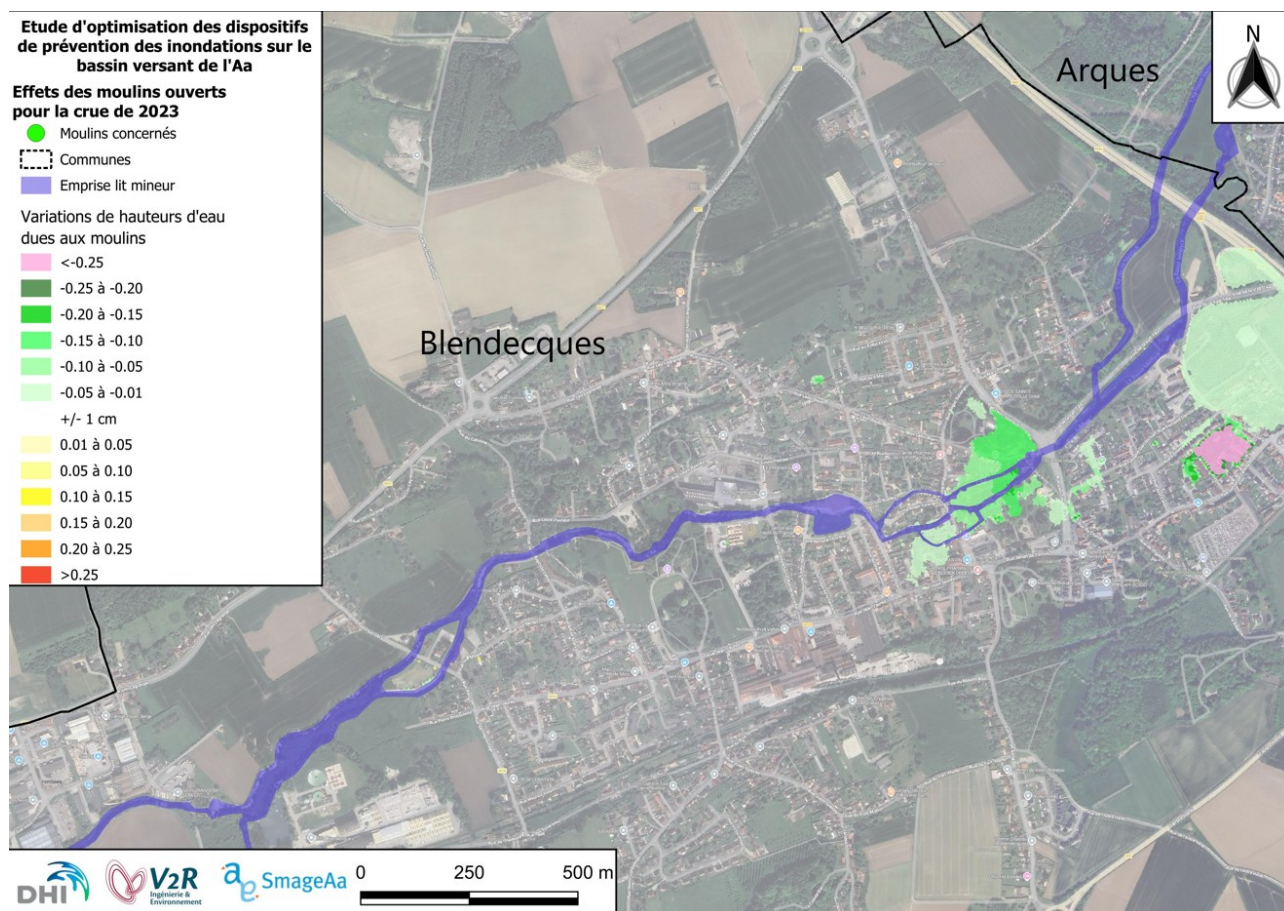


Figure 5-14 Incidences de l'ajout de moulins toutes vannes ouvertes sur les hauteurs d'eau maximales pour l'évènement de 2023 à Blendecques

En situation « toutes vannes ouvertes », l'ajout de moulins a pour effet de ralentir légèrement l'onde de crue sans augmenter le débit de pointe. On observe donc une réduction locale des inondations en aval pour cette crue.

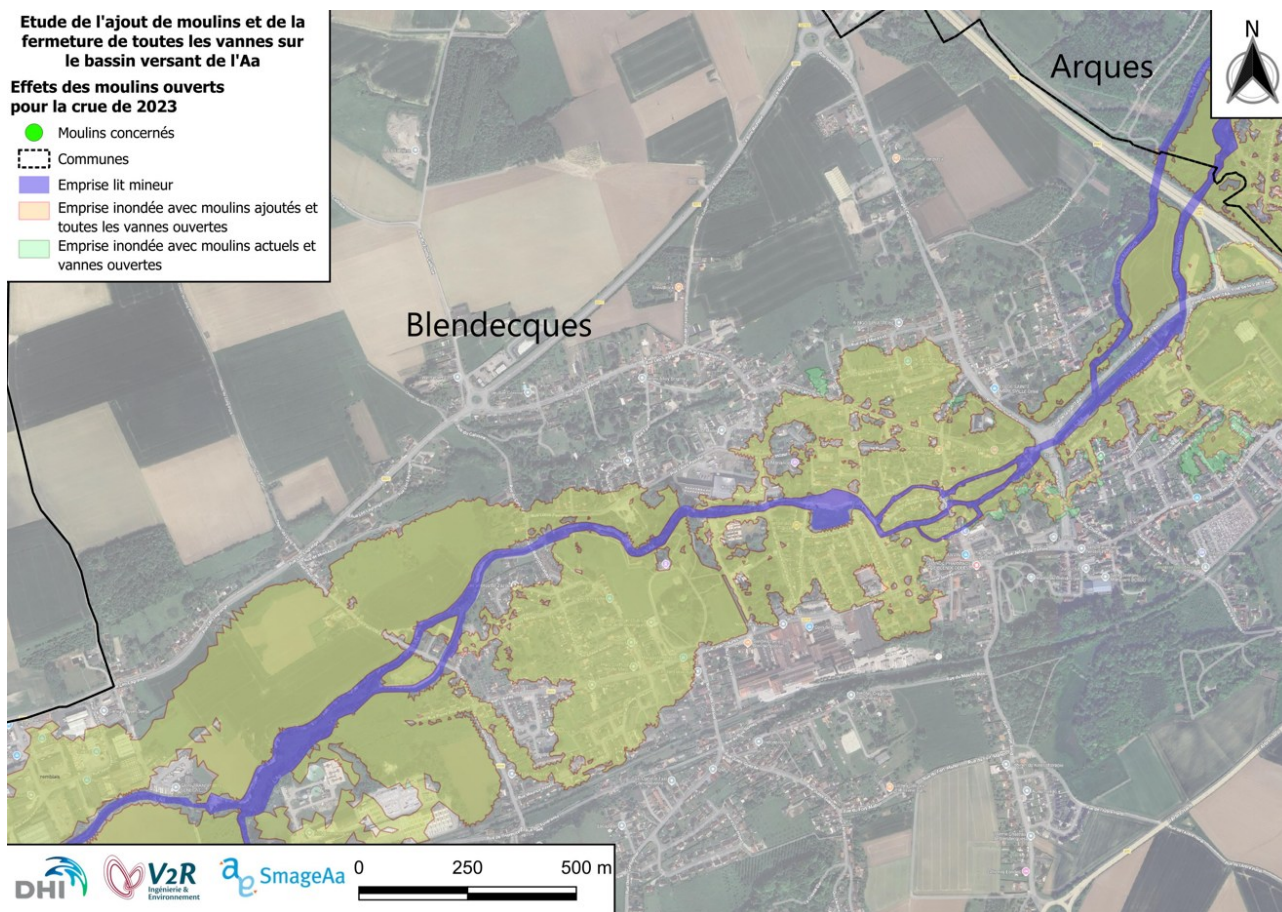


Figure 5-15 Incidences de l'ajout de moulins toutes vannes ouverte sur les étendues d'eau maximales pour l'évènement de 2023 à Blendecques

En termes d'emprises inondées, l'ajout de moulins (vannes ouvertes) réduit très légèrement l'emprise inondée.

Résumé sur Blendecques :

Blendecques est la seule commune où il se produirait une réduction légère des inondations avec l'ajout des moulins en position ouverte. En situation toutes vannes fermées, les débordements générés par la fermeture des vannes sont trop importants et aggravent les inondations dans des zones à enjeux.

Autres communes

L'incidence de l'ajout de moulins n'est pas présentée en d'autres lieux car les conclusions sont similaires à celles faites sur Ouve-Wirquin et sur Wizernes (seule Blendecques constitue une vraie exception qui est présentée pour cette raison particulière). L'ensemble des résultats au format *.shp est transmis conjointement au rapport pour permettre d'effectuer cette analyse sur l'intégralité du bassin versant.

A l'échelle du bassin versant, l'ajout de moulins avec fermeture des vannes a pour effet **d'augmenter la surface inondée de 5% et les volumes inondés de 6%**, l'ajout de moulins avec ouverture des vannes a pour effet **d'augmenter la surface inondée de 2% et les volumes inondés de 2%**.

5.4 Conclusion

Il ressort de cette analyse que, pour la crue de novembre 2023 :

- Les obstacles constitués par des moulins avec des vannes fermés sont très importants, ils provoquent un stockage local de l'eau en amont, mais également des débordements accrus en rive et des « surinondations », y compris dans des secteurs habités.
- Il n'y a pas d'incidence positive de la fermeture des vannes en aval immédiat des ouvrages i.e. le volume d'eau stocké et le ralentissement des crues est insuffisant par rapport aux volumes de la crue de novembre 2023 pour permettre de réduire les inondations.
- Le ralentissement de l'onde de crue dans l'Aa se traduit par une augmentation légère des débits de pointes à Elne et à Wizernes du fait des concomitances des différents affluents de l'Aa. Cet effet est spécifique à la crue de novembre 2023.
- *Similiter*, en situation « toutes vannes ouvertes », la création de nouvelles infrastructures en lit mineur a pour effet d'accroître des inondations déjà importantes.

Cet aménagement aggraverait donc les inondations pour la crue de novembre 2023 et sera donc pas repris dans les phases subséquentes du projet.

6. TEMPS DE PROPAGATION DE L'ONDE DE CRUE ENTRE L'AMONT ET L'AVAL

6.1 Contexte

La question de la vitesse de propagation de la crue se pose régulièrement. Elle présente notamment l'intérêt de pouvoir connaître le temps dont on peut disposer pour se protéger des crues en habitant en aval du bassin versant par rapport au début de la crue en amont, ou par rapport à d'autres points de repères (comme les sites de stations vigicrues).

Lors des dernières grandes crues de Novembre 2023 et Janvier 2024, des questions ont été posées concernant l'accélération ou non de la vitesse d'écoulement de la crue entre l'amont et l'aval depuis quelques années.

C'est l'objet de l'analyse faite dans ce chapitre.

6.2 La rugosité : un critère influent sur la vitesse d'écoulement en lit mineur

En hydraulique, la vitesse d'un écoulement dépend non seulement de la pente, mais aussi de la résistance exercée par la surface sur laquelle l'eau s'écoule. C'est ce que nous mesurons grâce à la **rugosité**, modélisée par le coefficient de Manning (n). Plus ce coefficient est élevé, plus la résistance est forte.

La végétation de berge, dite ripisylve, joue un rôle critique dans ce calcul lors d'une crue :

Cas d'un écoulement ralenti : la ripisylve dense joue le rôle de laminage du débit de crue

Comme l'illustre la partie gauche du graphique suivant, une berge naturelle avec des arbres, des arbustes et de la végétation dense crée un environnement à **forte rugosité**.

- **Mécanisme hydraulique** : lorsque la rivière sort de son lit mineur, l'eau doit se frayer un chemin à travers une multitude d'obstacles physiques (troncs, branches, racines). Cela génère une **forte turbulence** (représentée par les flèches bleues chaotiques), ce qui consomme l'énergie cinétique du courant.
- **Coefficient de Manning** : pour ce type de végétation, le coefficient n est élevé (0,08 à 0,15).
- **Résultat sur la crue (graphique de gauche en page suivante)** : La vitesse moyenne de l'écoulement est drastiquement réduite ($< 0,5$ m/s). Cela ralentit la propagation de l'onde de crue. L'hydrogramme montre un étalement et un écrêtement : le débit de pointe diminue et le pic arrive plus tard, ce qui réduit considérablement les risques d'inondations brutales et violentes en aval. C'est le principe du laminage naturel des crues.

Cas d'un écoulement peu ralenti : la ripisylve peu développée joue le rôle d'accélérateur de l'écoulement

À l'inverse, comme le montre la partie droite du graphique ci-dessous, des berges avec de l'herbe rase, des cultures ou du sol nu présentent une **faible rugosité** :

- **Mécanisme hydraulique** : Il n'y a presque aucun obstacle physique pour s'opposer au mouvement de l'eau. L'écoulement devient **plus lisse et linéaire**. L'eau conserve son énergie et prend rapidement de la vitesse.
- **Coefficient de Manning** : Le coefficient n est faible (0,03 à 0,04), typique de canaux lisses.
- **Résultat sur la crue (graphique de droite)** : La vitesse moyenne est élevée ($> 2,0$ m/s). L'onde de crue se propage très vite vers l'aval. L'hydrogramme montre un pic haut et étroit : l'eau arrive massivement et très rapidement, augmentant l'intensité de l'inondation en aval.

Illustration type de l'impact de la végétation de berges sur les conditions d'écoulements de l'eau :

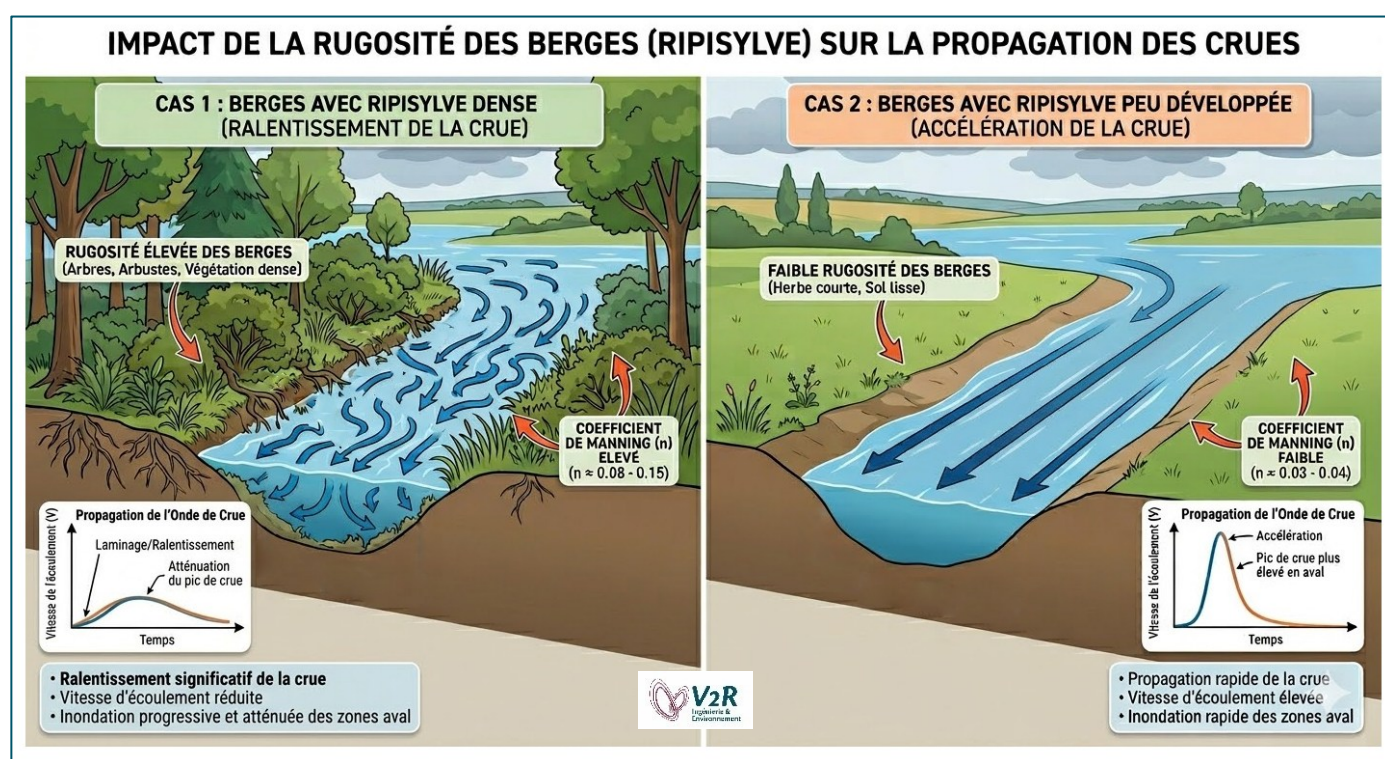


Figure 6-1 Schéma de l'impact de la rugosité des berges d'un cours d'eau sur les écoulements

Tableau de synthèse des coefficients de rugosité typiques pour des berges de cours d'eau :

État de la berge / Ripisylve	Manning (n)	Strickler (K)	Impact hydraulique
Berge propre, herbe rase (entretien intensif, pâturage)	0,030–0,035	33–28	Écoulement fluide, peu de freinage.
Broussailles éparses, quelques arbres	0,040–0,050	25–20	Début de turbulence en période de crue.
Ripisylve modérée (arbrisseaux, saules, végétation dense)	0,060–0,080	16–12	Freinage significatif, zone de stockage tampon.
Ripisylve dense, forêt alluviale (troncs, débris, sous-bois)	0,100–0,150	10–7	Très forte dissipation d'énergie (laminage).
Végétation inextricable (roseaux denses, embâcles naturels)	> 0,150	< 7	Zone de quasi-stagnation de l'eau.

Conclusion :

Cette comparaison démontre que la gestion de la ripisylve est un levier d'action hydraulique majeur. En favorisant des berges végétalisées et denses en amont des zones habitées, le coefficient de Manning est augmenté et cela réduit la vitesse de propagation et écrête les débits de pointe, protégeant ainsi l'aval de manière naturelle et efficace.

A l'inverse, à la traversée de zones habitées potentiellement inondables, il est plus judicieux de disposer de berges plus entretenues et opposant moins de résistance aux écoulement pour augmenter la vitesse et abaisser d'autant la ligne d'eau en crue.

Lors des grandes crues de novembre 2023, la végétation rivulaire était encore en feuilles et assez dense, ce qui a augmenté la rugosité et les hauteurs d'eau en crue, situation accentuée par de nombreux embâcles.

Quelques sources de littérature scientifique sur ce sujet :

1. **Chow, V. T. (1959).** *Open-Channel Hydraulics*. C'est la « bible » mondiale. Le chapitre sur la détermination de Manning propose des tables illustrées très précises.
2. **Arcement, G. J., & Schneider, V. R. (1989).** *Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains*. USGS Water-Supply Paper 2339. Un guide pratique extrêmement détaillé pour le terrain.
3. **Cemagref (devenu INRAE).** En France, les guides techniques de l'INRAE sur l'hydraulique fluviale et la gestion des berges sont les références normatives pour les études de dangers et les Plans de Prévention des Risques Inondation (PPRI).
4. Pour le contexte européen et l'utilisation du coefficient de Strickler (K_S), la référence est l'ouvrage **Hydraulique fluviale de Gérard Degoutte (Ingénieur général du GREF)**. Ce manuel est utilisé par les bureaux d'études et les services de l'État (DDT, DREAL) en France. Il établit la correspondance directe entre l'état de la végétation (ripisylve) et le freinage de l'écoulement (K de 10 à 15 pour des boisements denses).

6.3 Analyse par les mesures des crues

Nous disposons des mesures de débits de crue de l'Aa pour les plus fortes crues récentes, via les stations de mesures « vigicrues ».

Le temps de propagation de l'eau en crue **entre Fauquembergues et Wizernes (~26 km d'écoulement)** peut être parfaitement estimé au pic de crue s'il est marqué, ou lors de la décrue s'il y a une inflexion nette de la courbe.

Pour les crues de référence depuis 1999 :

- Décembre 1999 -> 12 heures de temps de propagation (2,16 km/h) ;
 - Mars 2002 -> 12 à 16 heures de temps de propagation (1,6 à 2,16 km/h) ;
 - 6/7 Novembre 2023 -> 10 heures de temps de propagation (2,6 km/h) ;
 - 11 Novembre 2023 -> 20 heures de temps de propagation (1,3 km/h) ;
 - Janvier 2024 -> 18 heures de temps de propagation (1,4 km/h).
- **Moyenne : 15 heures** (1,7 km/h ou 0,5 m/s)

Les mesures sont claires : aucune tendance à l'accélération de la propagation de la crue n'est observée.

Hydrogrammes de crues mesurés à Wizernes et Fauquembergues lors des crues du 24 au 29 décembre 1999 (source : www.vigicrues.gouv.fr) :

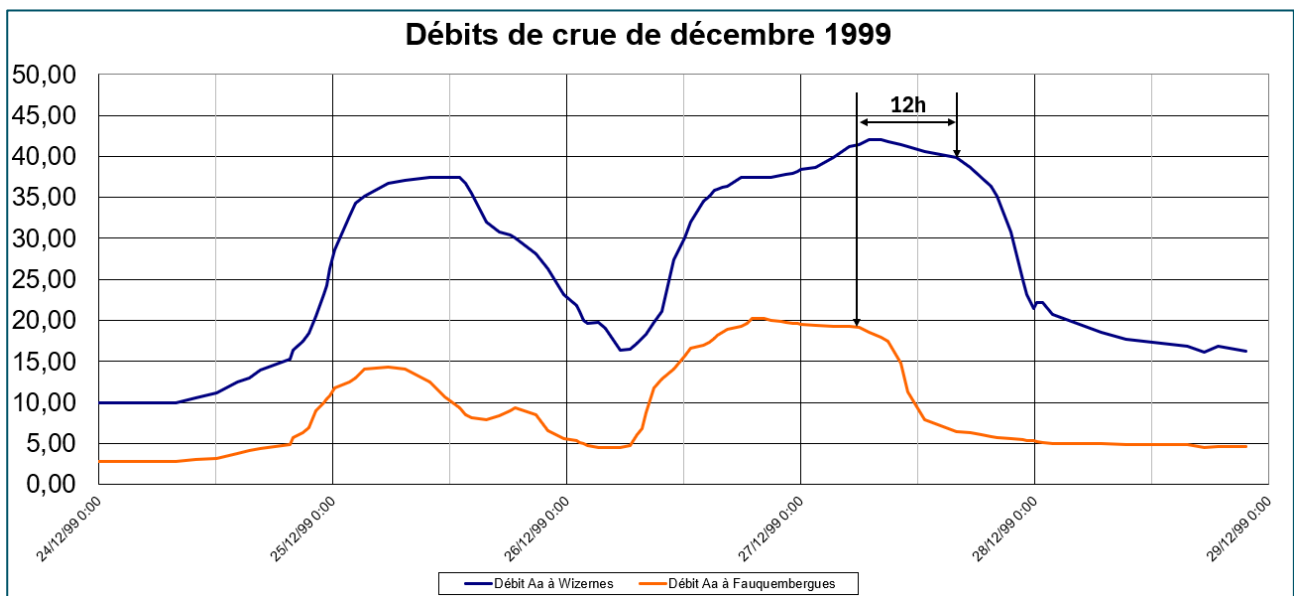


Figure 6-2 Hydrogrammes de crues mesurés à Fauquembergues et Wizernes en décembre 1999

*Hydrogrammes de crues mesurés à Wizernes et Fauquembergues lors des crues du 26 février au 1^{er} mars 2002
(source : www.vigicrues.gouv.fr) :*

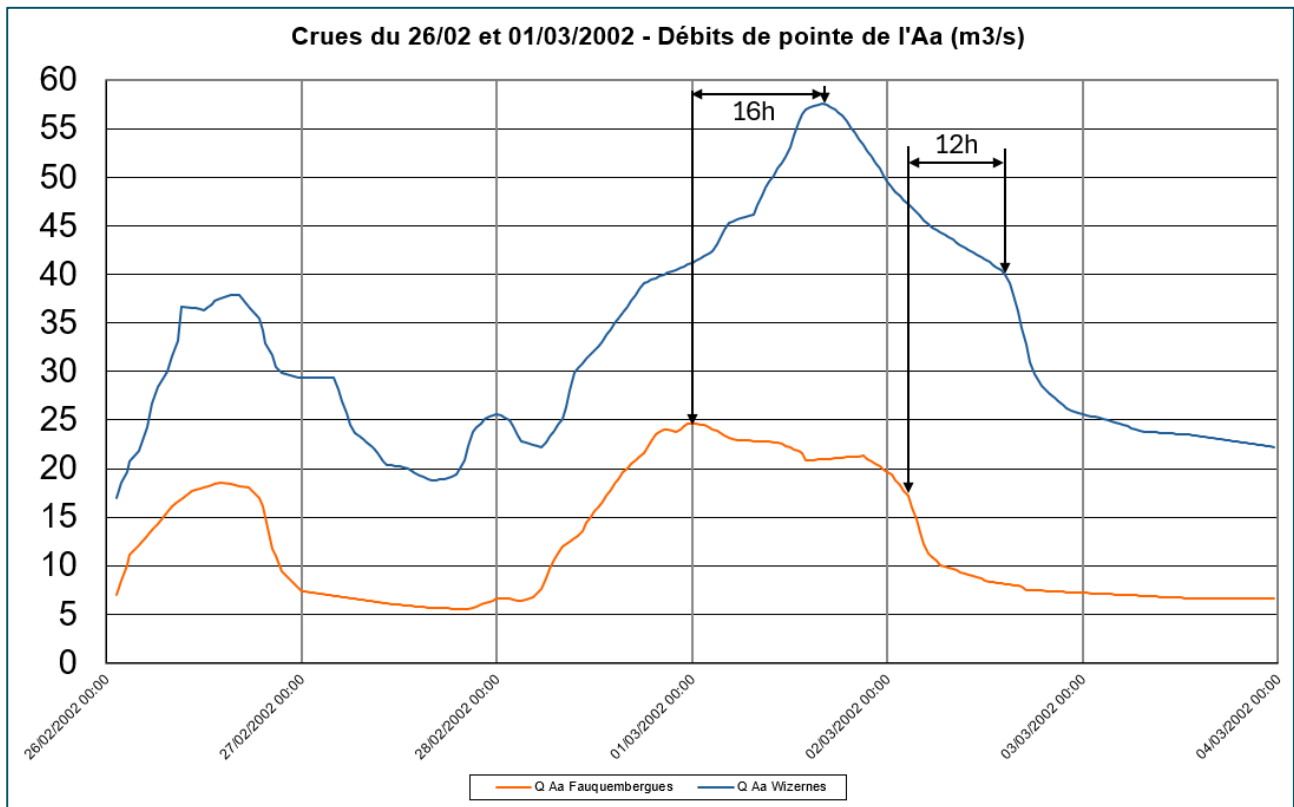


Figure 6-3 **Hydrogrammes de crues mesurés à Fauquembergues et Wizernes en février/mars 2002**

Hydrogrammes de crues mesurés à Wizernes et Fauquembergues lors des crues du 5 au 13 novembre 2023
 (source : www.vigicrues.gouv.fr) :

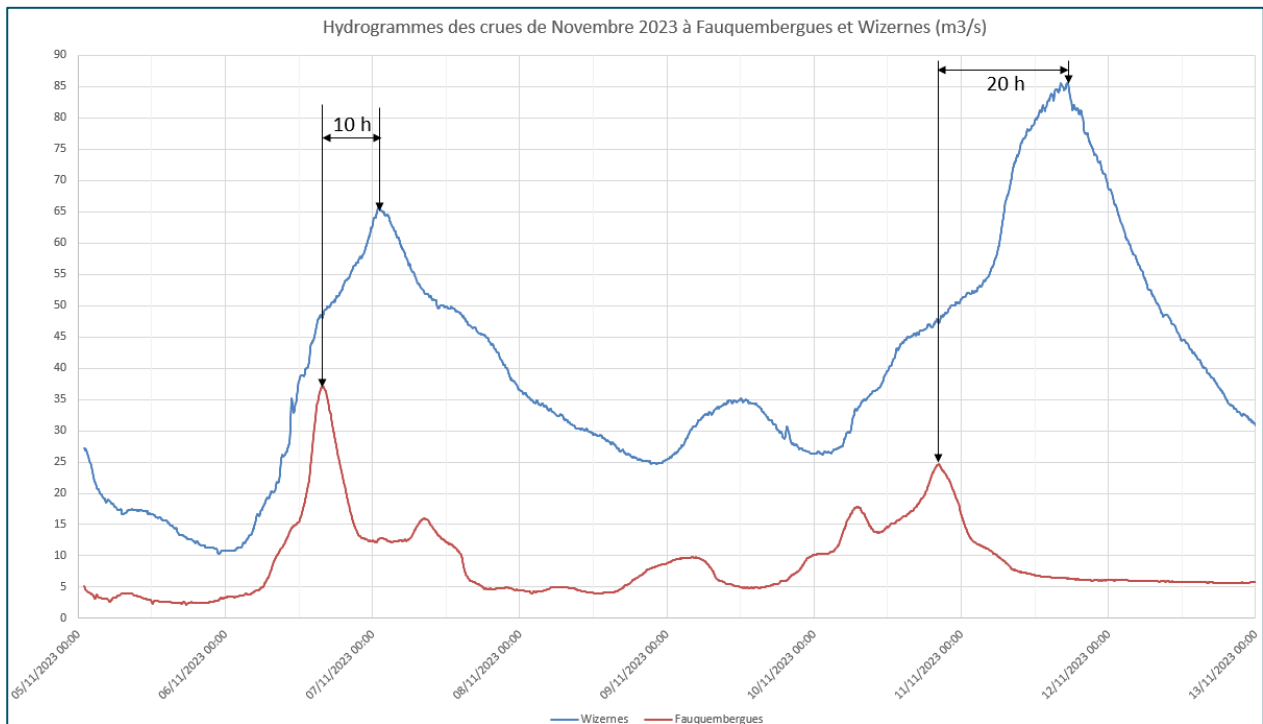


Figure 6-4 Hydrogrammes de crues mesurés à Fauquembergues et Wizernes en novembre 2023

Hydrogrammes de crues mesurés à Wizernes et Fauquembergues lors des crues du 1 au 6 janvier 2024
 (source : www.vigicrues.gouv.fr) :

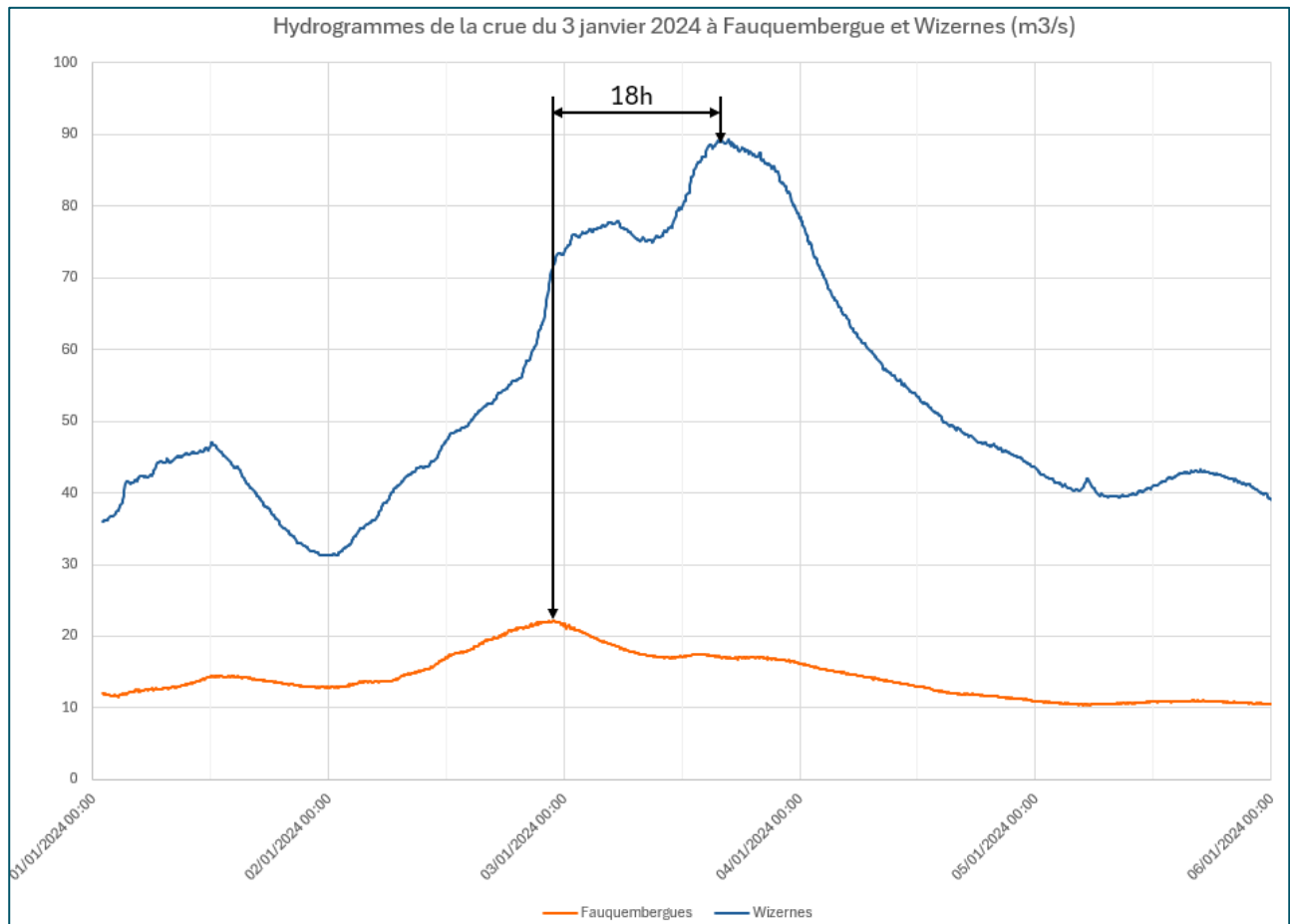


Figure 6-5 Hydrogrammes de crues mesurés à Fauquembergues et Wizernes en janvier 2024

2 Analyse par la simulation hydraulique

Les temps de propagation des crues sur l'Aa ont été estimés pour les crues de 1999, 2002, 2023 et 2024. Cette information peut s'avérer utile pour adapter la gestion de crise, l'éventuelle exploitation d'ouvrages vannés, et permet d'améliorer la connaissance du bassin versant et de son fonctionnement.

Ce temps a été estimé non pas en analysant les hydrogrammes de crues (qui sont conditionnés par les divers apports de chaque affluents), mais en extrayant les vitesses maximales le long de l'Aa pour déduire le temps de parcours de l'eau lors du pic de crue via la simulation hydraulique 1D/2D.

Tableau 6-1 Temps de propagation des pics de crues

Année de la crue	Temps de propagation depuis l'amont de Bourthes jusqu'à la confluence avec le Bléquin (39 km)	Temps de propagation depuis la confluence avec le Bléquin jusqu'à l'amont de Saint-Omer (14 km)	Temps de propagation depuis l'amont de Bourthes jusqu'à la l'amont de Saint-Omer (53 km)
1999	15,7	4,7	20,3
2002	15,0	4,5	19,7
2023	20,8	6,0	26,8
2024	14,5	4,0	18,5
Moyenne (en heures)	16,5	4,8	21,3
Moyenne (en km/h)	2,36	2,91	2,49
Moyenne (en m/s)	0,65	0,81	0,69

Le temps de propagation évalué pour la crue de 2023 est sensiblement plus lent car la survenance de crues successives a fait que les lits mineurs et majeurs se sont lentement remplis : les crues suivantes se propagent donc plus lentement le long du lit mineur.

L'estimation des temps de propagation sont similaires pour les trois autres crues, alors que celles-ci ont chacune des dynamiques propres. On peut donc conclure que selon la modélisation hydraulique **le temps de propagation moyen d'une crue de l'Aa est d'environ 19 à 27 h depuis l'amont de Bourthes jusqu'à Saint-Omer, et d'environ 4 à 6 h entre la confluence de l'Aa avec le Bléquin et l'amont de Saint-Omer.**

3 Conclusion

A partir du moment où la crue débute à Bourthes, on peut estimer disposer d'environ 19 à 27 heures avant l'arrivée du pic de crue à l'entrée de Saint-Omer (en moyenne 1 journée).

Autre indicateur pertinent, la durée de propagation de l'onde de crue entre Fauquembergues et Wizernes, qui sont disponibles à tout public sur le site vigicrues.gouv.fr, et qui est d'environ 15 heures.

L'analyse de 4 crues connues de 1999, 2002, 2023 et 2024 ne montre pas d'accélération de l'onde de crue vers l'aval.

7. QUEL VOLUME D'EAU A ETE INFILTRE ET RUISSELE LORS DES DERNIERES GRANDES CRUES DE L'AA ?

7.1 Contexte

Une fois la goutte de pluie posée sur le sol, elle a deux possibilités :

1 - L'infiltration : le sol agit comme une « éponge » et absorbe des proportions plus ou moins importantes d'eau, selon sa nature et son état de saturation :

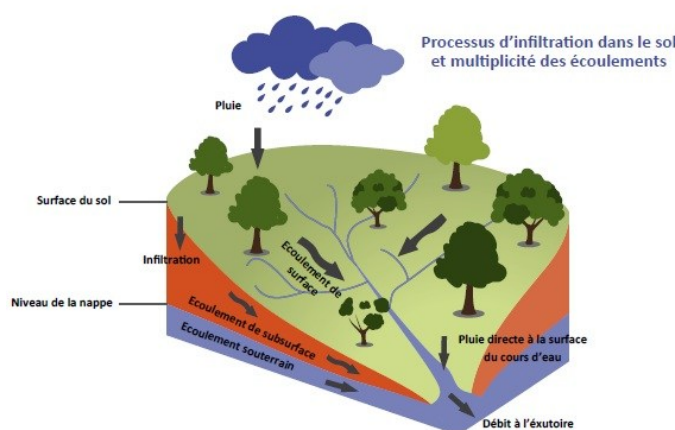
- **La zone non saturée** : l'eau descend d'abord pour humidifier la terre.
- **La percolation** : si la pluie continue, l'eau descend plus profondément pour rejoindre les nappes d'eau souterraines (la zone saturée du sous-sol).

2 – Le ruissellement :

Si l'eau ne peut pas entrer dans le sol, elle glisse en surface. Cela arrive pour deux raisons :

1. **Saturabilité (capacité de stockage dépassée)** : Les pores dans le sol (vides entre les particules) sont pleins, la capacité de stockage du sol est très réduite, mais cela n'empêche pas l'eau de pénétrer dans le sol (par gravité, par charge hydraulique) pour rejoindre des couches plus profondes par percolation, l'infiltration est réduite (mais pas supprimée).
2. **Imperméabilité ou intensité de la pluie (vitesse trop élevée)** : la pluie tombe plus vite que le sol ne peut l'absorber (comme verser un seau d'eau d'un coup dans un petit entonnoir). C'est la cause principale de ruissellement sur un sol saturé.

Le cycle de l'eau dans le sol



Source image : Cours d'hydrographie générale - Prof. André Musy ; Ecole Polytechnique de Lausanne

7.2 Analyse

L'estimation des volumes ruisselés et infiltrés sur le bassin versant pendant la crue est possible pour les crues de février/mars 2002, novembre 2023 et janvier 2024.

Pour les crues antérieures, les données pluviométriques ne sont pas assez précises ou pas disponibles.

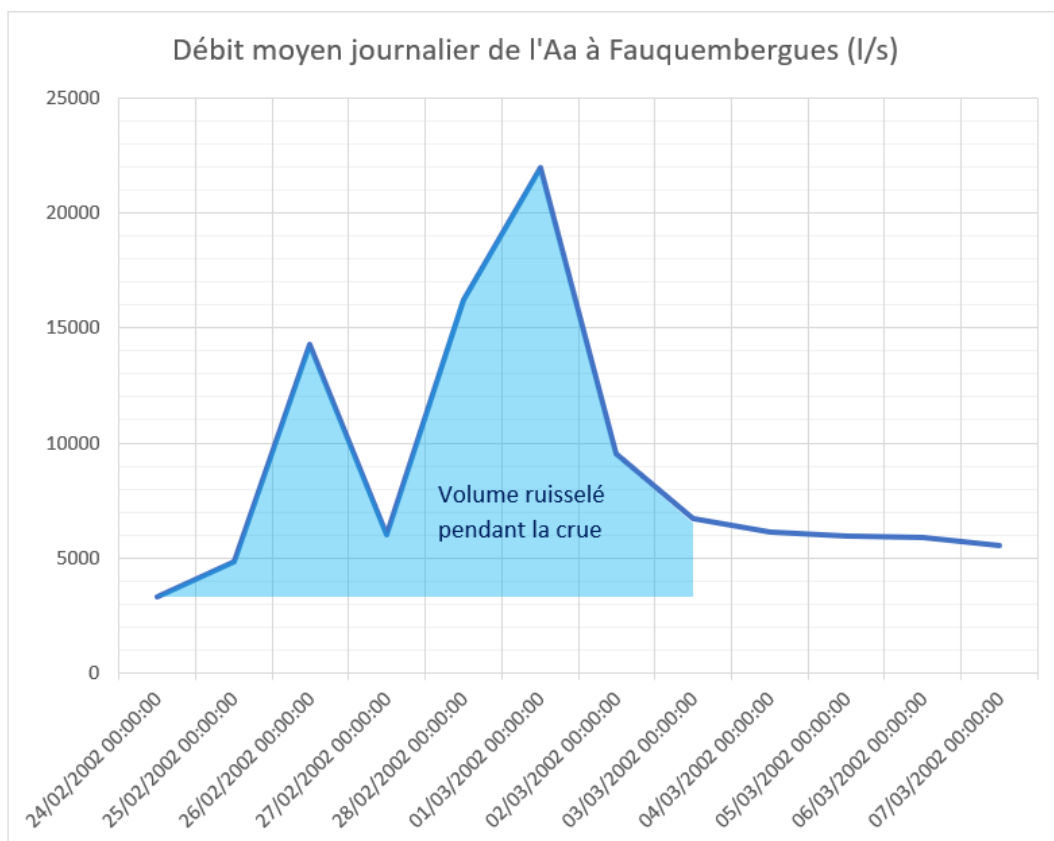
7.2.1 CRUE DU 26 FEVRIER AU 1^{ER} MARS 2002 :

Nous allons estimer le volume ruisselé pendant la crue et le coefficient de ruissellement associé, aux différents points de mesures de Fauquembergues, Lumbres et Wizernes pour l'Aa, et à Lumbres pour le Bléquin.

Pluie (mm)	
Date	Pluie
24/02/2002 00:00:00	18,9
25/02/2002 00:00:00	31,1
26/02/2002 00:00:00	7,1
27/02/2002 00:00:00	28,5
28/02/2002 00:00:00	46,2
01/03/2002 00:00:00	0,5
02/03/2002 00:00:00	0
03/03/2002 00:00:00	0
04/03/2002 00:00:00	0
05/03/2002 00:00:00	0

131,8 mm précipités entre le 24 février et le 28 février inclus (26,4mm par jour en moyenne).

Date	Aa à Fauquembergues Débit moyen journalier (l/s)	Aa à Lumbres Débit moyen journalier (l/s)	Aa à Wizernes Débit moyen journalier (l/s)	Bléquin à Lumbres Débit moyen journalier (l/s)
24/02/2002 00:00:00	3330	7797	11360	2240
25/02/2002 00:00:00	4840	22885	14350	2240
26/02/2002 00:00:00	14300	28240	30950	5180
27/02/2002 00:00:00	6030	16400	22540	4490
28/02/2002 00:00:00	16200	29860	32440	8150
01/03/2002 00:00:00	22000	41440	50640	10600
02/03/2002 00:00:00	9560	26500	38590	7340
03/03/2002 00:00:00	6700	16600	23130	7050
04/03/2002 00:00:00	6120	14800	21330	5750
05/03/2002 00:00:00	5960	14100	20450	4200
06/03/2002 00:00:00	5910	13800	19700	4010
07/03/2002 00:00:00	5560	12900	18800	3720



Volume écoulé pendant la crue :	6 880 032	m ³
Volume lié au débit de base :	2 013 984	m ³
Total m3 ruisselés :	4 866 048	m ³
Total pluie du 24/02 au 02/03 :	132,3	mm
Surface bassin versant :	143	km ²
Volume total de pluie sur le BV :	18 918 900	m ³
Coefficient de ruissellement :	26%	

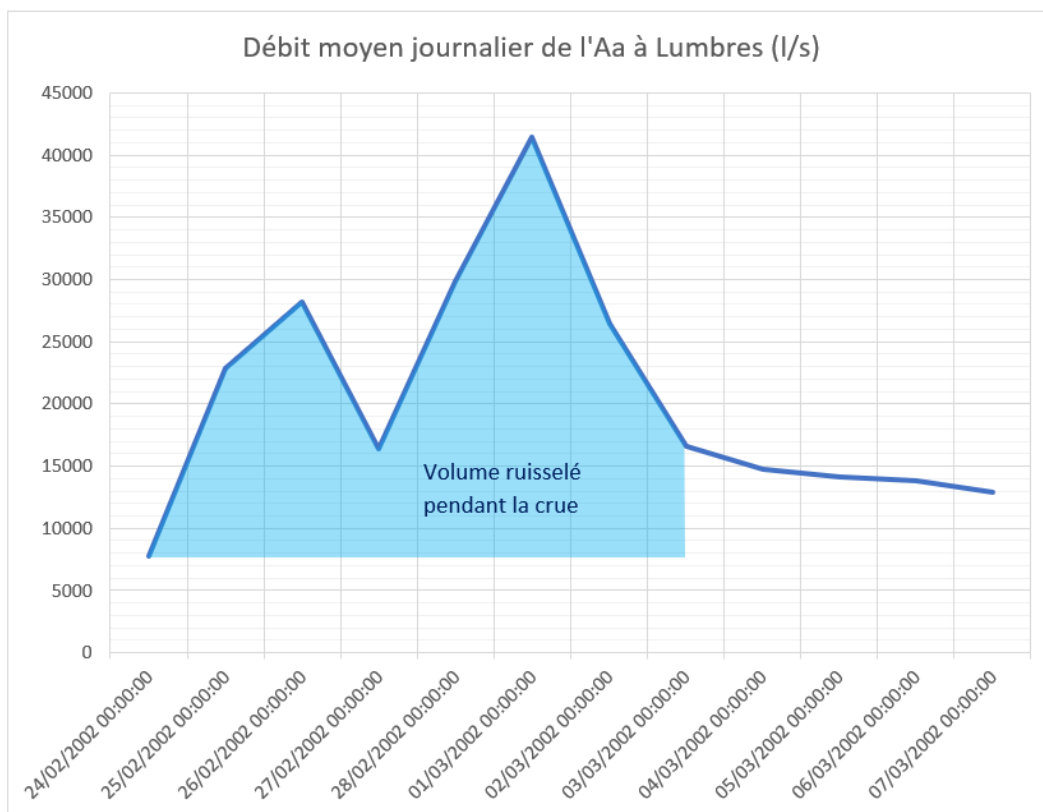
En synthèse, sur le bassin versant amont à Fauquembergues, pendant la crue le volume écoulé dans le cours d'eau a atteint 6,9 millions de m³, dont 4,9 millions dus au ruissellement.

La pluie a généré 18,9 millions de m³ d'eau sur le bassin versant. Le coefficient de ruissellement estimé selon cette méthode simplifiée est donc de 26%.

Le reste de l'eau qui n'a pas été ruisselée s'est infiltré dans le sol, alimentant la nappe superficielle et la nappe profonde. Une partie de ce volume est restitué de manière prolongée dans le cours d'eau dans les semaines et mois suivant la crue, en gonflant son débit de base par temps sec.

Par exemple, dans le cas présent, il passe de 3,3 m³/s avant la crue à 5,5 m³/s après la crue.

Le même exercice est réalisé pour l'ensemble des points de mesures de débit dans les pages suivantes.



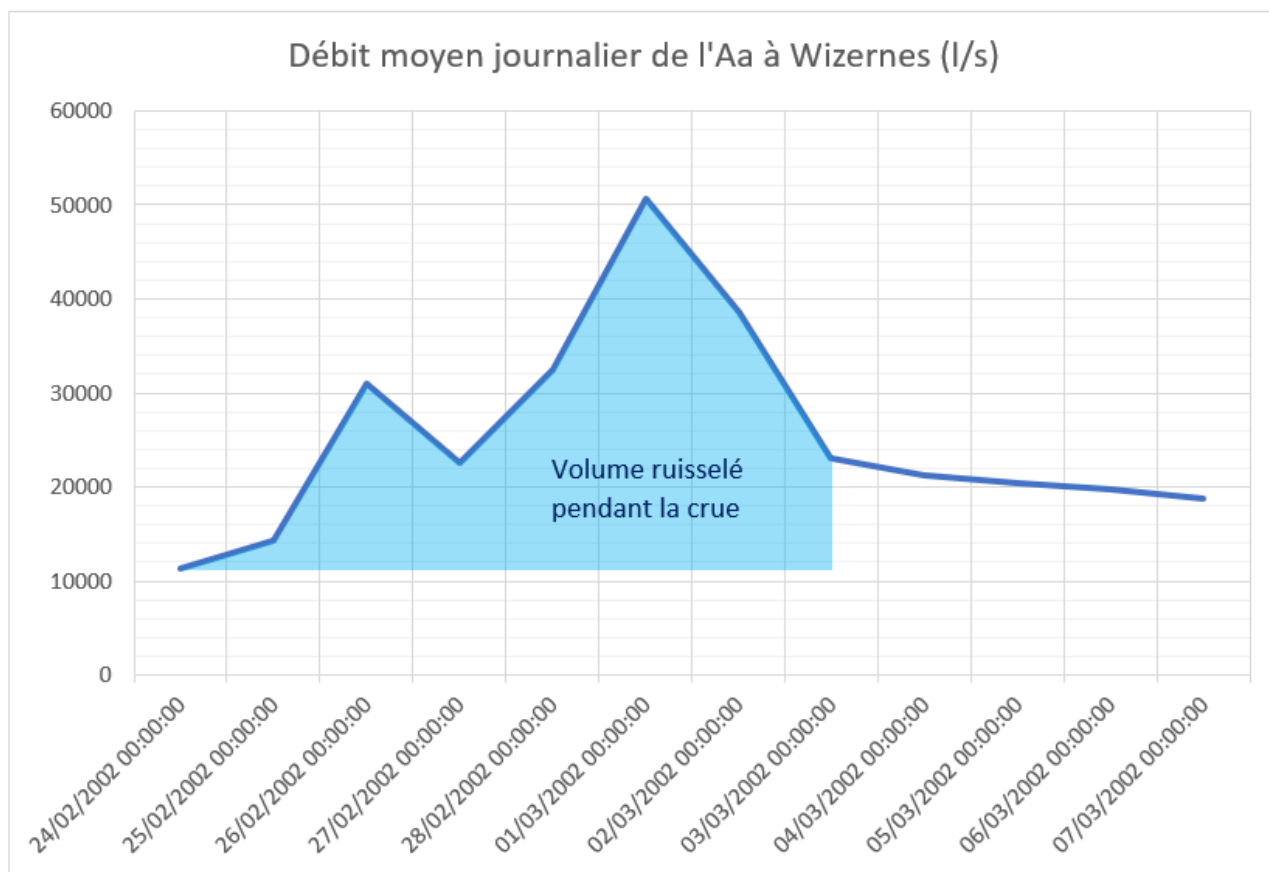
Volume écoulé pendant la crue :	15 718 320	m ³
Volume lié au débit de base :	4 715 625	m ³
Total m3 ruisselés :	11 002 694	m ³
Total pluie du 24/02 au 02/03 :	132,3	mm
Surface bassin versant :	317	km ²
Volume total de pluie sur le BV :	41 939 100	m ³
Coefficient de ruissellement :	26%	

En synthèse, sur le bassin versant amont à Lumbres, pendant la crue le volume écoulé dans le cours d'eau a atteint 15,7 millions de m³, dont 11,0 millions dus au ruissellement.

La pluie a généré 41,9 millions de m³ d'eau sur le bassin versant. Le coefficient de ruissellement estimé selon cette méthode simplifiée est donc de 26%.

Le reste de l'eau qui n'a pas été ruisselée s'est infiltré dans le sol, alimentant la nappe superficielle et la nappe profonde. Une partie de ce volume est restitué de manière prolongée dans le cours d'eau dans les semaines et mois suivant la crue, en gonflant son débit de base par temps sec.

Par exemple, dans le cas présent, il passe de 7,8 m³/s avant la crue à 12,9 m³/s après la crue.



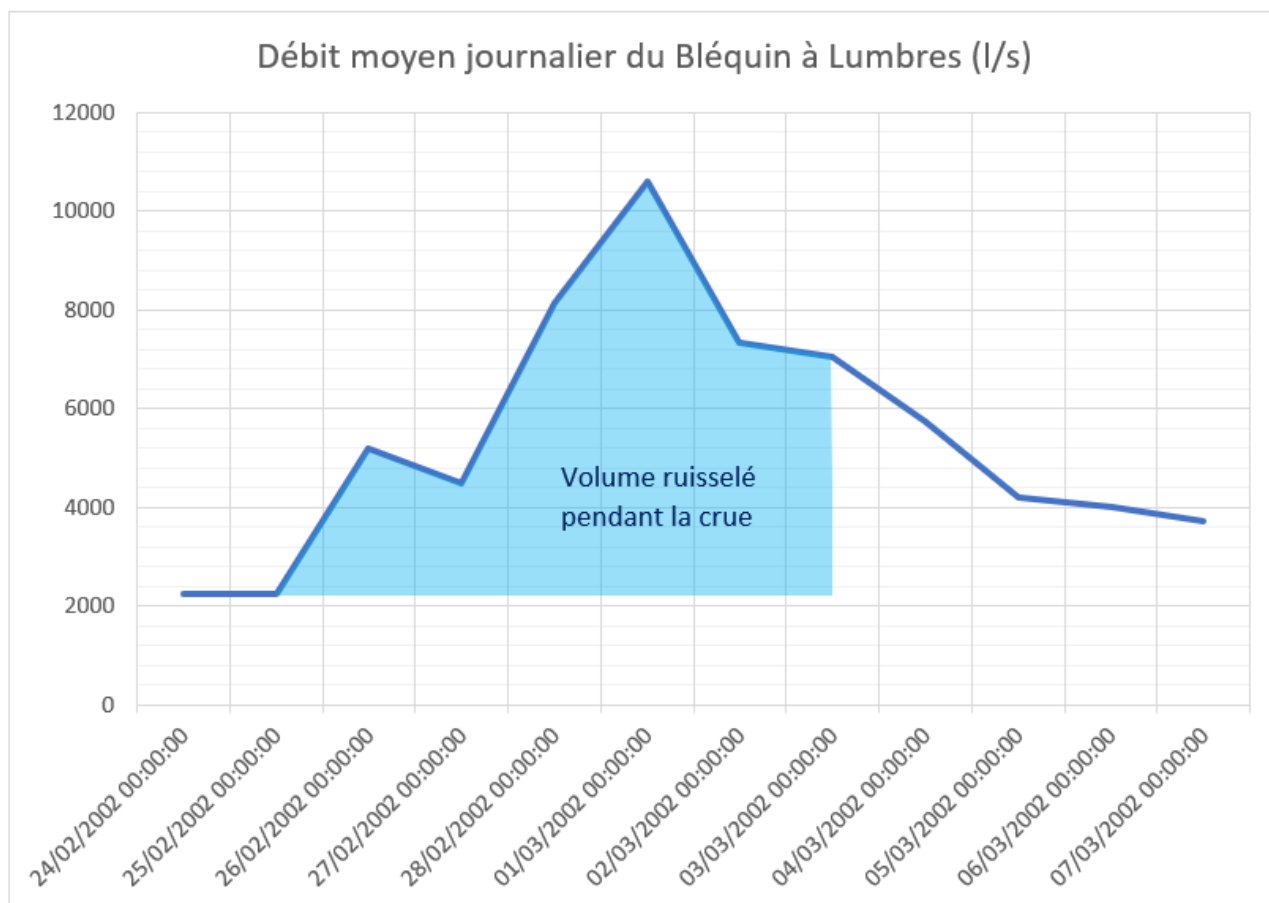
Volume écoulé pendant la crue :	18 372 096	m ³
Volume lié au débit de base :	6 870 528	m ³
Total m3 ruisselés :	11 501 568	m ³
Total pluie du 24/02 au 02/03 :	132,3	mm
Surface bassin versant :	392	km ²
Volume total de pluie sur le BV :	51 861 600	m ³
Coefficient de ruissellement :	22%	

En synthèse, sur le bassin versant amont à Wizernes, pendant la crue le volume écoulé dans le cours d'eau a atteint 18,4 millions de m³, dont 11,5 millions dus au ruissellement.

La pluie a généré 51,9 millions de m³ d'eau sur le bassin versant. Le coefficient de ruissellement estimé selon cette méthode simplifiée est donc de 22%.

Le reste de l'eau qui n'a pas été ruisselée s'est infiltré dans le sol, alimentant la nappe superficielle et la nappe profonde. Une partie de ce volume est restitué de manière prolongée dans le cours d'eau dans les semaines et mois suivant la crue, en gonflant son débit de base par temps sec.

Par exemple, dans le cas présent, il passe de 11,4 m³/s avant la crue à 18,8 m³/s après la crue.



Volume écoulé pendant la crue :	3 892 320	m ³
Volume lié au débit de base :	1 354 752	m ³
Total m3 ruisselés :	2 537 568	m ³
Total pluie du 24/02 au 02/03 :	132,3	mm
Surface bassin versant :	67,2	km ²
Volume total de pluie sur le BV :	8 890 560	m ³
Coefficient de ruissellement :	29%	

En synthèse, sur le bassin versant du Bléquin amont à Lumbres, pendant la crue le volume écoulé dans le cours d'eau a atteint 3,9 millions de m³, dont 2,5 millions dus au ruissellement.

La pluie a généré 8,9 millions de m³ d'eau sur le bassin versant. Le coefficient de ruissellement estimé selon cette méthode simplifiée est donc de 29%.

Le reste de l'eau qui n'a pas été ruisselée s'est infiltré dans le sol, alimentant la nappe superficielle et la nappe profonde. Une partie de ce volume est restitué de manière prolongée dans le cours d'eau dans les semaines et mois suivant la crue, en gonflant son débit de base par temps sec.

Par exemple, dans le cas présent, il passe de 2,2 m³/s avant la crue à 3,7 m³/s après la crue.

Synthèse des résultats :

BV	S (km ²)	% BV Total	Volume ruisselé	Volume ruisselé / km ²	% volume total	Coefficient Ruissellement
Amont Fauquembergues	143	36,5%	4 866 048	34 028	42%	26%
Aa amont Lumbres	317	80,9%	11 002 694	34 709	96%	26%
Entre Fauquembergues et Lumbres (hors Bléquin)	106,8	27,2%	3 599 078	33 699	31%	27%
Ruisseau Le Bléquin	67,2	17,1%	2 537 568	37 761	22%	29%
Entre Lumbres et Wizernes	75	19,1%	498 874	6 652	4%	4%
Amont Wizernes	392	100,0%	11 501 568	29 341	100%	22%

Globalement, le volume ruisselé au km² était assez homogène sur l'ensemble du bassin versant. La partie entre Lumbres et Wizernes (bassin versant du Ruisseau d'Acquin principalement) a très peu contribué à la crue comparativement aux volumes d'eau générés par l'amont (4%).

Globalement sur l'Aa en amont de Wizernes :

29 300 m³ de ruissellement produit / km² pour 132mm de pluie (222 m³/mm pluie / km²)

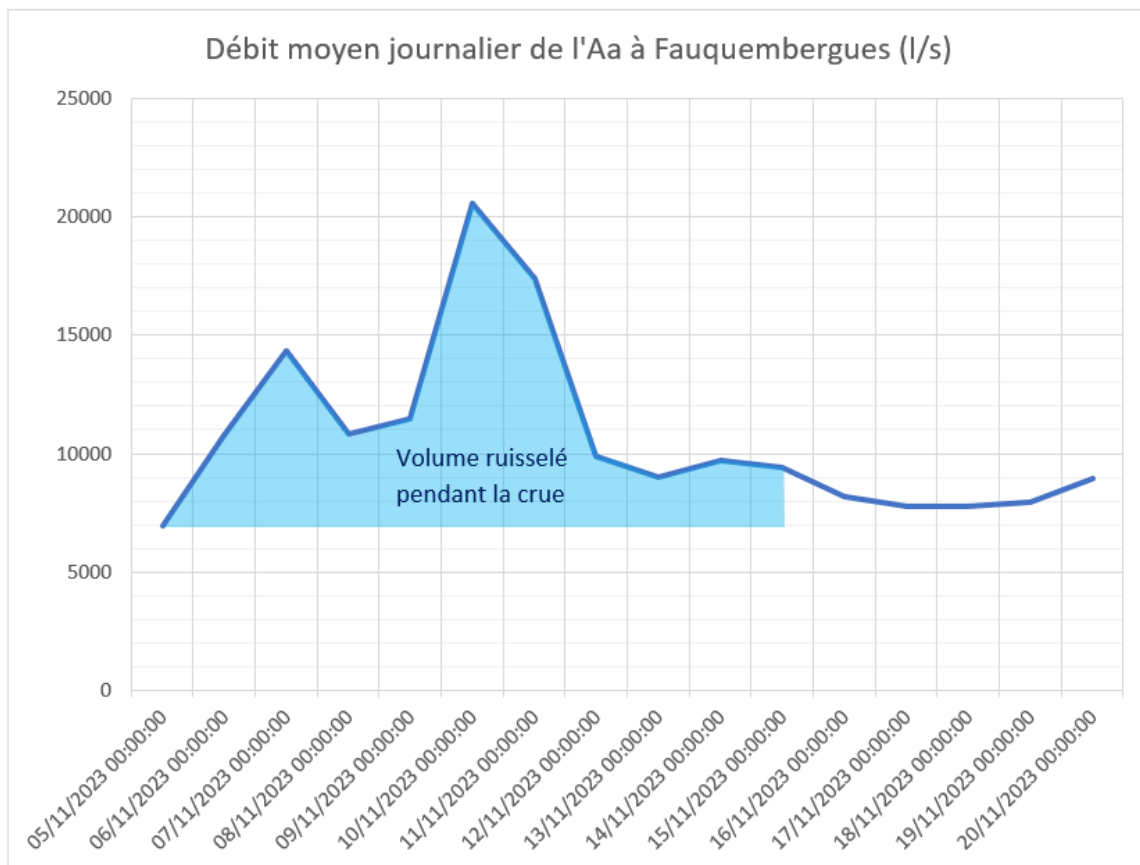
22% de coefficient de ruissellement sur 392 km²

7.2.2 CRUE DES 6 ET 11 NOVEMBRE 2023 :

Nous allons estimer le volume ruisselé pendant la crue et le coefficient de ruissellement associé, aux différents points de mesures de Fauquembergues, Elnes et Wizernes pour l'Aa, et à Lumbres pour le Bléquin.

Pluie (mm)	
Date	Pluie
05/11/2023 00:00:00	14,5
06/11/2023 00:00:00	51,9
07/11/2023 00:00:00	20,9
08/11/2023 00:00:00	27,9
09/11/2023 00:00:00	26,7
10/11/2023 00:00:00	52,2
11/11/2023 00:00:00	0,2
12/11/2023 00:00:00	1,9
13/11/2023 00:00:00	13,9
14/11/2023 00:00:00	18,9
15/11/2023 00:00:00	0,7
16/11/2023 00:00:00	7,5
17/11/2023 00:00:00	3,2
18/11/2023 00:00:00	11,3
19/11/2023 00:00:00	8,6
20/11/2023 00:00:00	14,7

Date	Aa à Fauquembergues Débit moyen journalier (l/s)	Aa à Elnes Débit moyen journalier (l/s)	Aa à Wizernes Débit moyen journalier (l/s)	Bléquin à Lumbres Débit moyen journalier (l/s)
05/11/2023 00:00:00	6951	9833	15500	3039
06/11/2023 00:00:00	10754	23945	41100	13906
07/11/2023 00:00:00	14369	24285	46300	8727
08/11/2023 00:00:00	10815	19072	28400	4849
09/11/2023 00:00:00	11488	19718	30800	6679
10/11/2023 00:00:00	20549	38801	49200	16466
11/11/2023 00:00:00	17380	48367	64400	8228
12/11/2023 00:00:00	9896	21563	26900	5863
13/11/2023 00:00:00	8990	15239	29800	7124
14/11/2023 00:00:00	9692	16827	29000	8359
15/11/2023 00:00:00	9431	15192	22600	7207
16/11/2023 00:00:00	8165	12067	21200	5696
17/11/2023 00:00:00	7780	11180	20600	5148
18/11/2023 00:00:00	7767	10895	20800	5228
19/11/2023 00:00:00	7923	11319		4864
20/11/2023 00:00:00	8954	14098		6822



Volume écoulé pendant la crue :	10 658 565	m ³
Volume lié au débit de base :	6 005 340	m ³
Total m3 ruisselés :	4 653 225	m ³
Total pluie du 05/11 au 14/11 :	229	mm
Surface bassin versant :	143	km ²
Volume total de pluie sur le BV :	32 747 000	m ³
Coefficient de ruissellement :	14%	

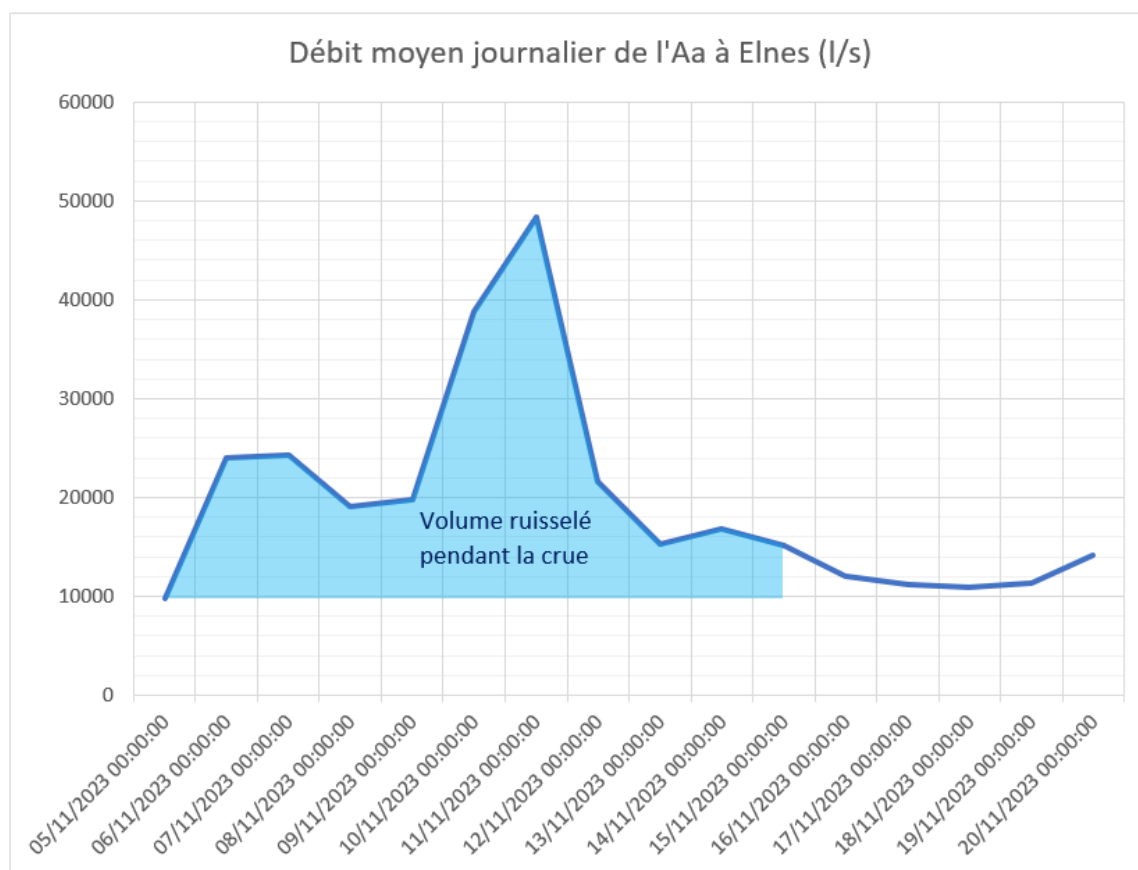
En synthèse, sur le bassin versant amont à Fauquembergues, pendant la crue le volume écoulé dans le cours d'eau a atteint 10,7 millions de m³, dont 4,6 millions dus au ruissellement.

La pluie a généré 32,7 millions de m³ d'eau sur le bassin versant. Le coefficient de ruissellement estimé selon cette méthode simplifiée est donc de 14%.

Le reste de l'eau qui n'a pas été ruisselée s'est infiltré dans le sol, alimentant la nappe superficielle et la nappe profonde. Une partie de ce volume est restitué de manière prolongée dans le cours d'eau dans les semaines et mois suivant la crue, en gonflant son débit de base par temps sec.

Par exemple, dans le cas présent, il passe de 7 m³/s avant la crue à 8 m³/s après la crue.

Le même exercice est réalisé pour l'ensemble des points de mesures de débit dans les pages suivantes.



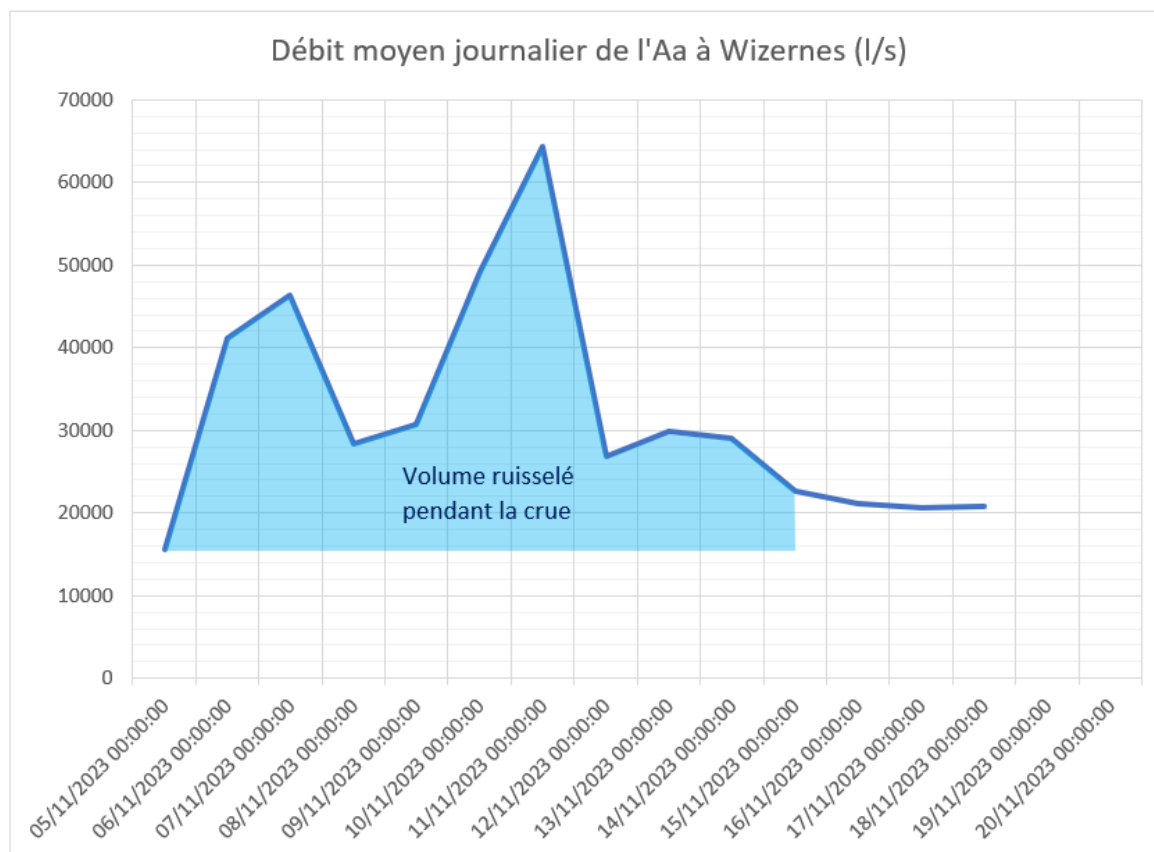
Volume écoulé pendant la crue :	20 995 985	m ³
Volume lié au débit de base :	8 495 940	m ³
Total m3 ruisselés :	12 500 045	m ³
Total pluie du 05/11 au 14/11 :	229	mm
Surface bassin versant :	243	km ²
Volume total de pluie sur le BV :	55 647 000	m ³
Coefficient de ruissellement :	22%	

En synthèse, sur le bassin versant amont à Elnes, pendant la crue le volume écoulé dans le cours d'eau a atteint 21,0 millions de m³, dont 12,5 millions dus au ruissellement.

La pluie a généré 55,7 millions de m³ d'eau sur le bassin versant. Le coefficient de ruissellement estimé selon cette méthode simplifiée est donc de 22%.

Le reste de l'eau qui n'a pas été ruisselée s'est infiltré dans le sol, alimentant la nappe superficielle et la nappe profonde. Une partie de ce volume est restitué de manière prolongée dans le cours d'eau dans les semaines et mois suivant la crue, en gonflant son débit de base par temps sec.

Par exemple, dans le cas présent, il passe de 9,8 m³/s avant la crue à 10,8 m³/s après la crue.



Volume écoulé pendant la crue :	31 838 400	m ³
Volume lié au débit de base :	13 392 000	m ³
Total m3 ruisselés :	18 446 400	m ³
Total pluie du 05/11 au 14/11 :	229	mm
Surface bassin versant :	392	km ²
Volume total de pluie sur le BV :	89 768 000	m ³
Coefficient de ruissellement :	21%	

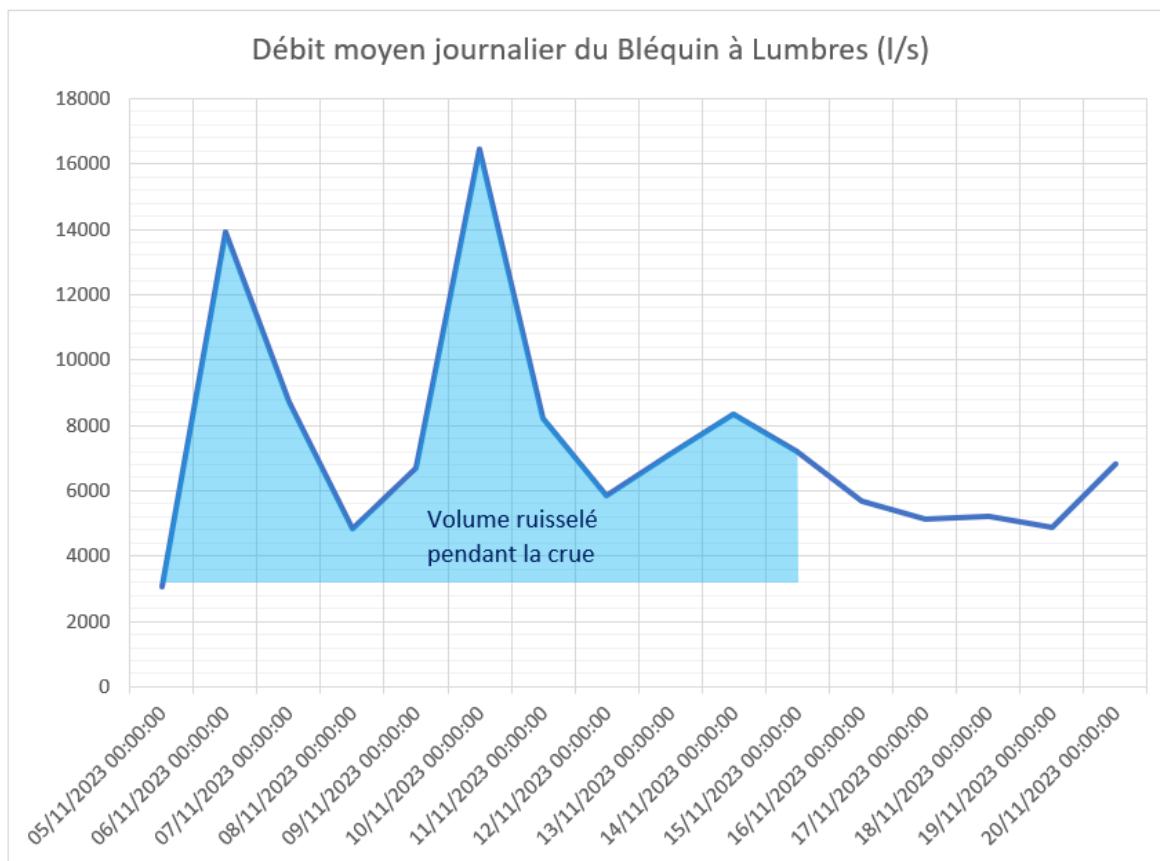
En synthèse, sur le bassin versant amont à Wizernes, pendant la crue le volume écoulé dans le cours d'eau a atteint 31,8 millions de m³, dont 18,4 millions dus au ruissellement.

La pluie a généré 89,8 millions de m³ d'eau sur le bassin versant. Le coefficient de ruissellement estimé selon cette méthode simplifiée est donc de 21%.

Le reste de l'eau qui n'a pas été ruisselée s'est infiltré dans le sol, alimentant la nappe superficielle et la nappe profonde. Une partie de ce volume est restitué de manière prolongée dans le cours d'eau dans les semaines et mois suivant la crue, en gonflant son débit de base par temps sec.

Par exemple, dans le cas présent, il passe de 15,5 m³/s avant la crue à 20,6 m³/s après la crue.

A noter aussi que le 11 novembre, le débit moyen journalier (64,4 m³/s) a dépassé à lui seul le débit de pointe instantané de la précédente crue référence de mars 2002 (56,7 m³/s).



Volume écoulé pendant la crue :	7 551 863	m ³
Volume lié au débit de base :	2 626 050	m ³
Total m3 ruisselés :	4 925 813	m ³
Total pluie du 05/11 au 14/11 :	229	mm
Surface bassin versant :	67,2	km ²
Volume total de pluie sur le BV :	15 388 800	m ³
Coefficient de ruissellement :	32%	

En synthèse, sur le bassin versant du Bléquin amont à Lumbres, pendant la crue le volume écoulé dans le cours d'eau a atteint 7,6 millions de m³, dont 4,9 millions dus au ruissellement.

La pluie a généré 15,4 millions de m³ d'eau sur le bassin versant. Le coefficient de ruissellement estimé selon cette méthode simplifiée est donc de 32%.

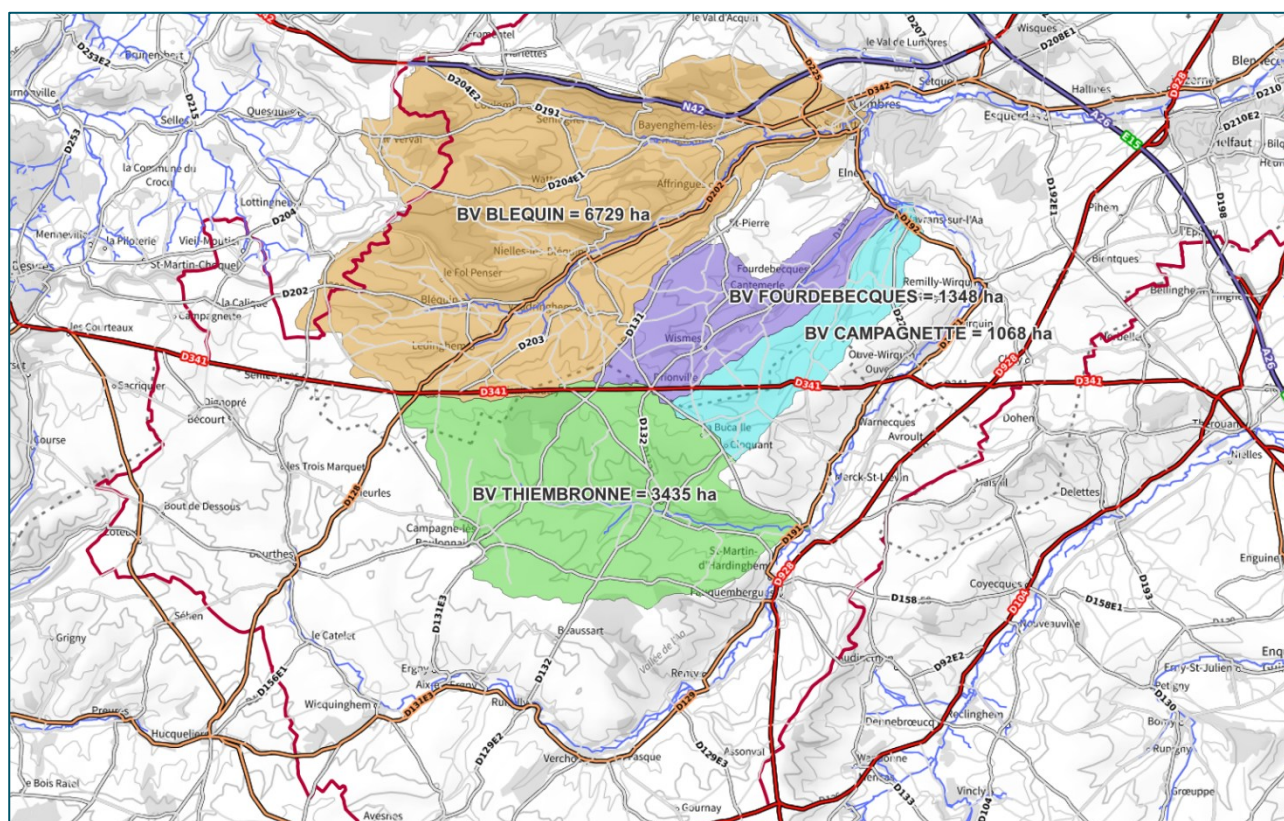
Le reste de l'eau qui n'a pas été ruisselée s'est infiltré dans le sol, alimentant la nappe superficielle et la nappe profonde. Une partie de ce volume est restitué de manière prolongée dans le cours d'eau dans les semaines et mois suivant la crue, en gonflant son débit de base par temps sec.

Par exemple, dans le cas présent, il passe de 3,0 m³/s avant la crue à 4,9 m³/s après la crue.

Synthèse des résultats :

BV	S (km²)	% BV Total	Volume ruisselé	Volume ruisselé / km²	% volume total	Coefficient Ruissellement
Amont Fauquembergues	143	36,5%	4653225	32540	25%	14%
Amont Elnes	243	62,0%	12500046	51441	68%	22%
Entre Fauquembergues et Elnes	100	25,5%	7846821	78468	43%	34%
Ruisseau Le Bléquin	67,2	17,1%	4925813	73301	27%	32%
Entre Lumbres et Wizernes	81,8	20,9%	1020541	12476	6%	6%
Amont Wizernes	392	100,0%	18446400	47057	100%	21%

Les sous-bassins versants les plus productifs pendant cette crue étaient ceux du **ruisseau du Bléquin et ceux le long de l'Aa entre Fauquembergues et Lumbres** (soient tous les gros affluents de rive gauche de l'Aa : ruisseaux de Thiembronne, de Fourdebecques, ..., voir carte ci-dessous).



La partie entre Lumbres et Wizernes a peu contribué à la crue (comme en 2002).

Globalement sur l'Aa en amont de Wizernes :

47 060 m³ de ruissellement produit / km² pour 229mm de pluie (206 m³/mm pluie / km²)

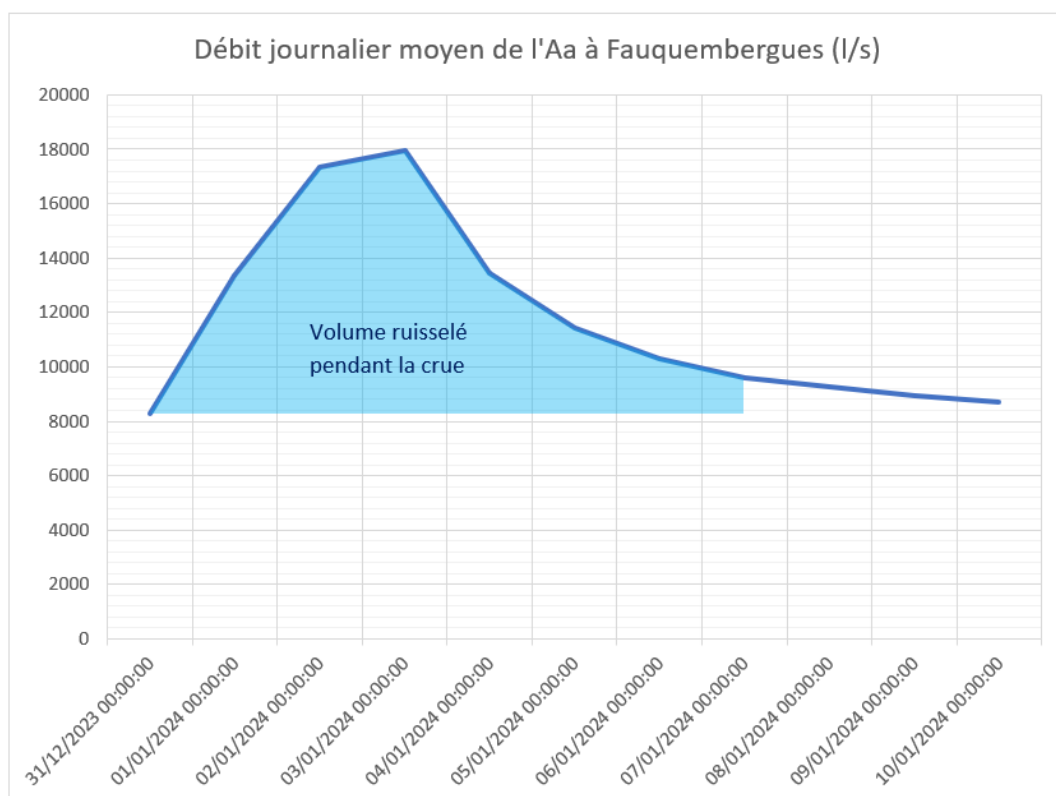
21% de coefficient de ruissellement sur 392 km²

7.2.3 CRUE DU 3 AU 4 JANVIER 2024 :

Nous allons estimer le volume ruisselé pendant la crue et le coefficient de ruissellement associé, aux différents points de mesures de Fauquembergues, Elnes et Wizernes pour l'Aa, et à Lumbres pour le Bléquin.

Pluie (mm)	
Date	Pluie
31/12/2023 00:00:00	39,7
01/01/2024 00:00:00	18,7
02/01/2024 00:00:00	38,2
03/01/2024 00:00:00	21,6
04/01/2024 00:00:00	2,1
05/01/2024 00:00:00	15,2
06/01/2024 00:00:00	3,3
07/01/2024 00:00:00	2,4
08/01/2024 00:00:00	0
09/01/2024 00:00:00	0
10/01/2024 00:00:00	0

Date	Aa à Fauquembergues	Aa à Elnes	Aa à Wizernes	Bléquin à Lumbres
	Débit moyen journalier (l/s)	Débit moyen journalier (l/s)	Débit moyen journalier (l/s)	Débit moyen journalier (l/s)
31/12/2023 00:00:00	8290	12720	20660	4010
01/01/2024 00:00:00	13350	25730	40400	8970
02/01/2024 00:00:00	17350	37610	47450	15230
03/01/2024 00:00:00	17950	49250	81000	13260
04/01/2024 00:00:00	13460	30650	54500	7530
05/01/2024 00:00:00	11410	23020	41800	8910
06/01/2024 00:00:00	10300	18990	35000	6370
07/01/2024 00:00:00	9590	16160	31250	5960
08/01/2024 00:00:00	9280	14250	27800	5310
09/01/2024 00:00:00	8960	13200	26000	4870
10/01/2024 00:00:00	8710	12660	24800	4480



Volume écoulé pendant la crue :	8 070 624	m ³
Volume lié au débit de base :	5 013 792	m ³
Total m3 ruisselés :	3 056 832	m ³
Total pluie du 31/12 au 10/01 :	141,2	mm
Surface bassin versant :	143	km ²
Volume total de pluie sur le BV :	20 191 600	m ³
Coefficient de ruissellement :	15%	

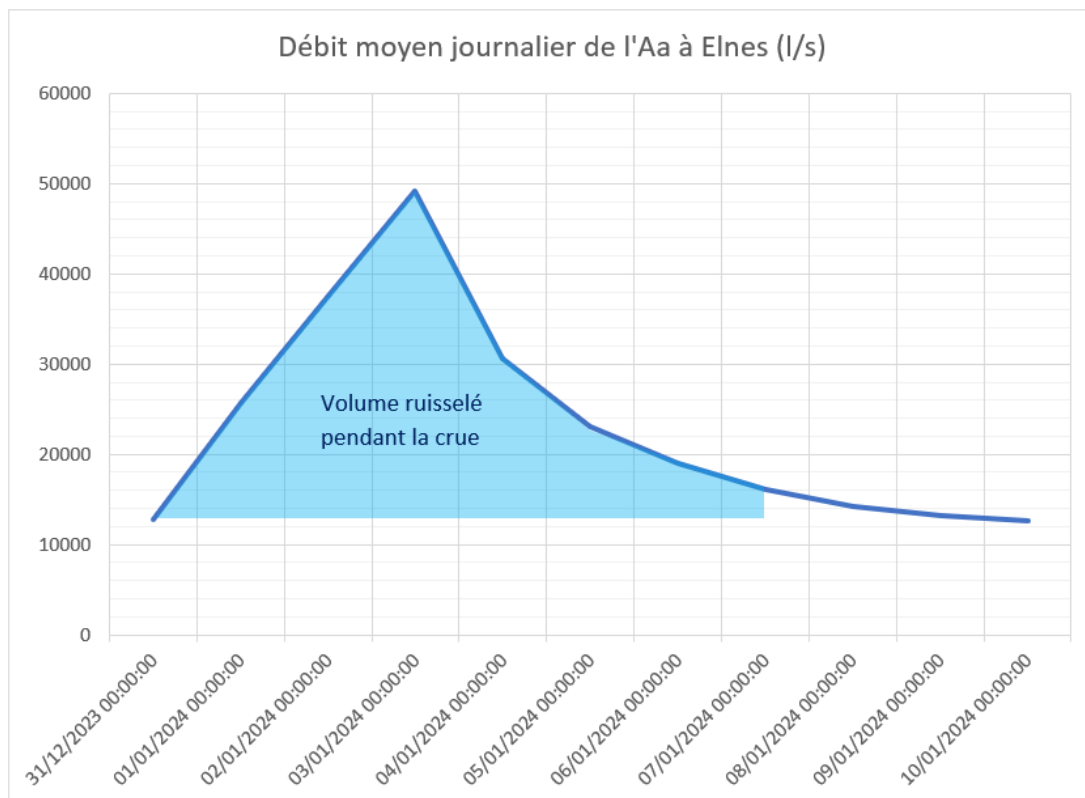
En synthèse, sur le bassin versant amont à Fauquembergues, pendant la crue le volume écoulé dans le cours d'eau a atteint 8,1 millions de m³, dont 3,1 millions dus au ruissellement.

La pluie a généré 20,2 millions de m³ d'eau sur le bassin versant. Le coefficient de ruissellement estimé selon cette méthode simplifiée est donc de 15%.

Le reste de l'eau qui n'a pas été ruisselée s'est infiltré dans le sol, alimentant la nappe superficielle et la nappe profonde. Une partie de ce volume est restitué de manière prolongée dans le cours d'eau dans les semaines et mois suivant la crue, en gonflant son débit de base par temps sec.

Par exemple, dans le cas présent, il passe de 8,3 m³/s avant la crue à 8,7 m³/s après la crue.

Le même exercice est réalisé pour l'ensemble des points de mesures de débit dans les pages suivantes.



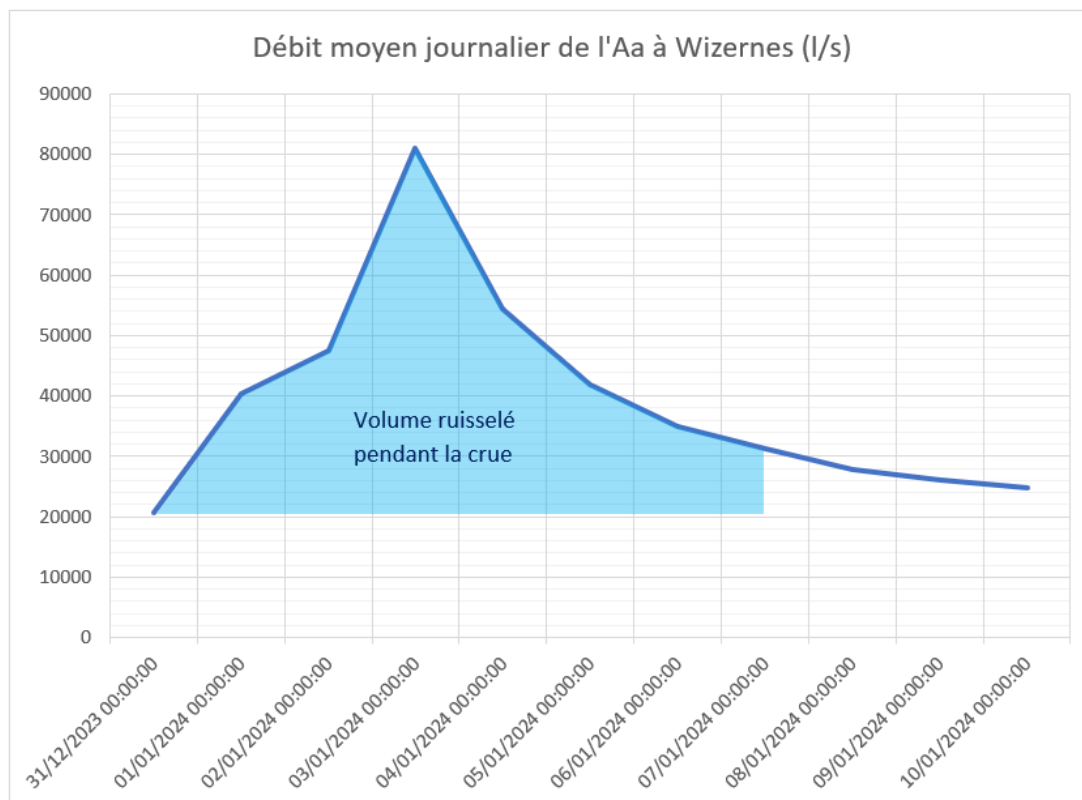
Volume écoulé pendant la crue :	17 401 824	m ³
Volume lié au débit de base :	7 693 056	m ³
Total m3 ruisselés :	9 708 768	m ³
Total pluie du 31/12 au 10/01	141,2	mm
Surface bassin versant :	143	km ²
Volume total de pluie sur le BV :	34 311 600	m ³
Coefficient de ruissellement :	28%	

En synthèse, sur le bassin versant amont à Elnes, pendant la crue le volume écoulé dans le cours d'eau a atteint 17,4 millions de m³, dont 9,7 millions dus au ruissellement.

La pluie a généré 34,3 millions de m³ d'eau sur le bassin versant. Le coefficient de ruissellement estimé selon cette méthode simplifiée est donc de 28%.

Le reste de l'eau qui n'a pas été ruisselée s'est infiltré dans le sol, alimentant la nappe superficielle et la nappe profonde. Une partie de ce volume est restitué de manière prolongée dans le cours d'eau dans les semaines et mois suivant la crue, en gonflant son débit de base par temps sec.

Par exemple, dans le cas présent, il reste stable avant/après à la valeur de 12,7 m³/s.



Volume écoulé pendant la crue :	28 632 960	m ³
Volume lié au débit de base :	12 495 168	m ³
Total m3 ruisselés :	16 137 792	m ³
Total pluie du 31/12 au 10/01	141,2	mm
Surface bassin versant :	392	km ²
Volume total de pluie sur le BV :	55 350 400	m ³
Coefficient de ruissellement :	29%	

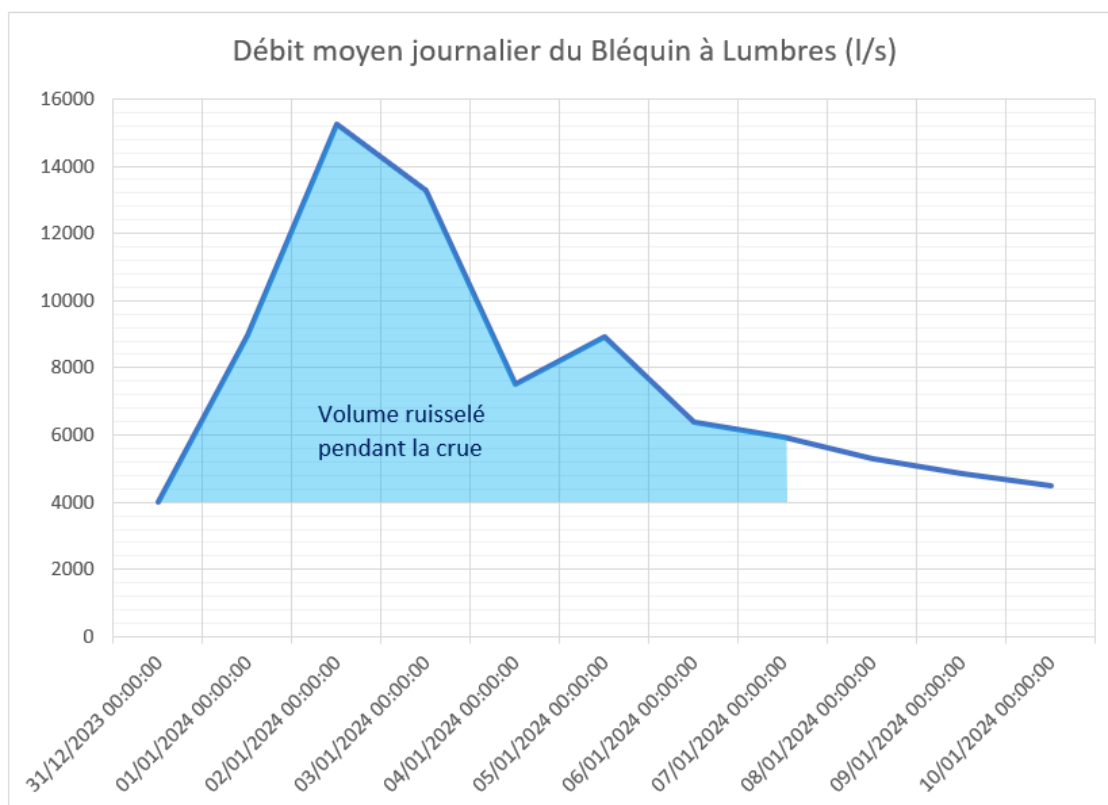
En synthèse, sur le bassin versant amont à Wizernes, pendant la crue le volume écoulé dans le cours d'eau a atteint 28,6 millions de m³, dont 16,1 millions dus au ruissellement.

La pluie a généré 55,4 millions de m³ d'eau sur le bassin versant. Le coefficient de ruissellement estimé selon cette méthode simplifiée est donc de 29%.

Le reste de l'eau qui n'a pas été ruisselée s'est infiltré dans le sol, alimentant la nappe superficielle et la nappe profonde. Une partie de ce volume est restitué de manière prolongée dans le cours d'eau dans les semaines et mois suivant la crue, en gonflant son débit de base par temps sec.

Par exemple, dans le cas présent, il passe de 20,6 m³/s avant la crue à 24,8 m³/s après la crue.

A noter aussi que le 3 janvier, le débit moyen journalier a atteint la valeur énorme de 81 m³/s, dépassant très largement à lui seul le débit de pointe instantané de la précédente crue référence de mars 2002 (56,7 m³/s) et étant proche du débit maximal instantané du 11 novembre 2023 (86 m³/s).



Volume écoulé pendant la crue :	5 722 272	m ³
Volume lié au débit de base :	2 425 248	m ³
Total m3 ruisselés :	3 297 024	m ³
Total pluie du 31/12 au 10/01	155,4	mm
Surface bassin versant :	67,2	km ²
Volume total de pluie sur le BV :	10 442 880	m ³
Coefficient de ruissellement :	32%	

En synthèse, sur le bassin versant du Bléquin amont à Lumbres, pendant la crue le volume écoulé dans le cours d'eau a atteint 5,7 millions de m³, dont 3,3 millions dus au ruissellement.

La pluie a généré 10,4 millions de m³ d'eau sur le bassin versant. Le coefficient de ruissellement estimé selon cette méthode simplifiée est donc de 32%.

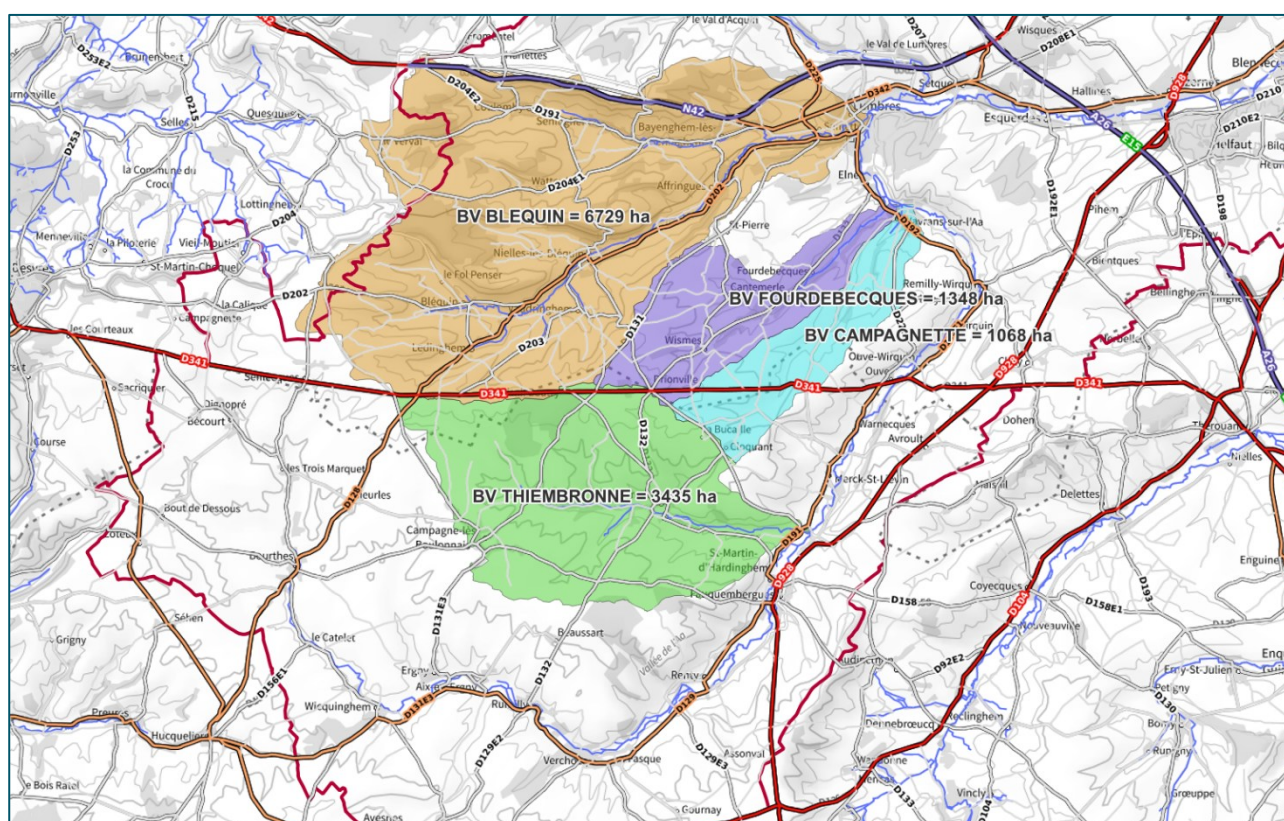
Le reste de l'eau qui n'a pas été ruisselée s'est infiltré dans le sol, alimentant la nappe superficielle et la nappe profonde. Une partie de ce volume est restitué de manière prolongée dans le cours d'eau dans les semaines et mois suivant la crue, en gonflant son débit de base par temps sec.

Par exemple, dans le cas présent, il passe de 4,0 m³/s avant la crue à 4,5 m³/s après la crue.

Synthèse des résultats :

BV	S (km ²)	% BV Total	Volume ruisselé	Volume ruisselé / km ²	% volume total	Coefficient Ruissellement
Amont Fauquembergues	143	36,5%	3 056 832	21 376	19%	15%
Amont Elnes	243	62,0%	9 708 768	39 954	60%	28%
Entre Fauquembergues et Elnes	100	25,5%	6 651 936	66 519	41%	44%
Ruisseau Le Bléquin	67,2	17,1%	3 297 024	49 063	20%	32%
Entre Lumbres et Wizernes	81,8	20,9%	3 132 000	38 289	19%	21%
Amont Wizernes	392	100,0%	16 137 792	41 168	100%	29%

Les sous-bassins versants les plus productifs pendant cette crue étaient ceux du ruisseau du Bléquin et surtout ceux le long de l'Aa entre Fauquembergues et Lumbres (soient tous les gros affluents de rive gauche de l'Aa : ruisseaux de Thiembronne, de Fourdebecques,..., voir la carte ci-dessous).



NB 1 : La partie entre Lumbres et Wizernes a notablement contribué à la crue, contrairement aux deux autres crues précédemment étudiées (21% de coef. de ruissellement calculé au lieu de 4 et 6% pour les autres cas pré-étudiés).

NB 2 : il est intéressant de noter que la pluviométrie précédent cette crue (118mm) était semblable à celle précédant la crue de mars 2002 (131mm). Sans cette saturation excessive des sols, le débit ruisselé aurait dû plutôt être comparable à celui de mars 2002, et donc engendrer une crue bien moindre que celle de 2024 (plutôt de l'ordre de 60 m³/s au lieu de 90 m³/s à Wizernes).

Globalement sur l'Aa en amont de Wizernes :

41 170 m³ de ruissellement produit / km² pour 141mm de pluie (292 m³/mm pluie / km²)

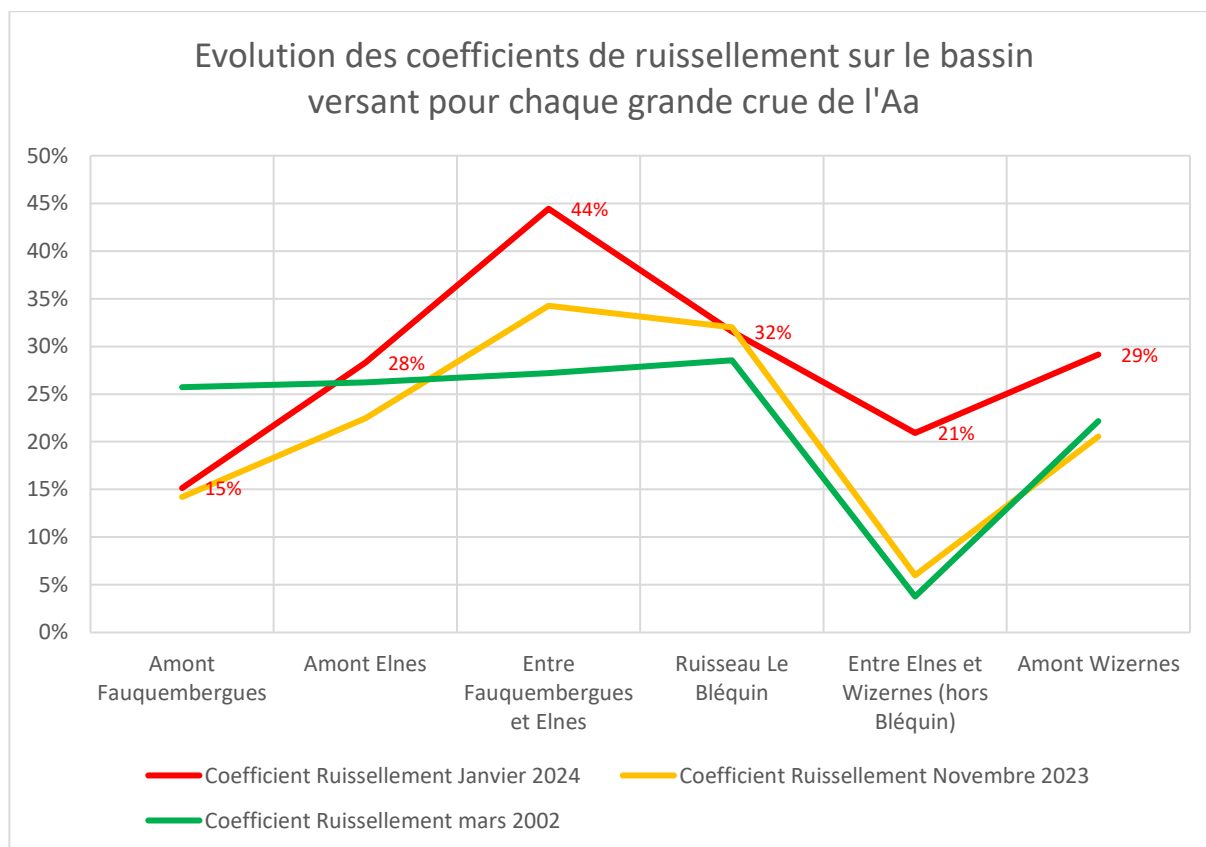
29% de coefficient de ruissellement.

7.3 Conclusion

COMPARAISON DES COEFFICIENTS DE RUISSELLEMENT ENTRE LES TROIS CRUES :

En comparant les crues entre elles :

- Il ressort que les coefficients de ruissellement entre les crues de mars 2002 et de novembre 2023 étaient du même ordre de grandeur, exception du sous-bassin versant en amont de Fauquembergues qui était beaucoup plus productif en 2002 (26% contre 14%). L'ensemble des aménagements d'hydraulique douce et lourde réalisés entre temps en amont de ce bassin versant a probablement réduit les volumes transités vers l'Aa pendant la crue. On note aussi que le sous-bassin versant entre Fauquembergues et Elnes était plus productif en 2023 qu'en 2002 (34% contre 27%). Le sous-bassin versant du Bléquin était légèrement plus contributif (32% contre 29%).
- La crue de janvier 2024 avait des coefficients de ruissellement plus élevés en tous secteurs par rapport à la crue de novembre 2023, et surtout entre Fauquembergues et Elnes (44% contre 27%). Le secteur entre Lumbres et Wizernes a aussi plus nettement contribué à la crue que lors des épisodes précédents de 2002 et 2023. **De manière générale, la forte saturation des sols liée aux pluies exceptionnelles de cet automne et de la crue de novembre 2023 ont fortement contribué à aggraver la situation hydrologique. Le coefficient de ruissellement global de l'Aa était de 29% en janvier 2024, contre 21% en novembre 2023 (les sols ont ruisselé 40% en plus).**



CONCLUSION :

Sur la base de cette analyse statistique simplifiée, il apparaît que les grands sous-bassins versants les plus productifs aux crues récentes de 2023 et 2024 sont ceux de l'Aa situés entre Fauquembergues et Elnes (100 km²), ainsi que celui du Bléquin (67,2 km²).

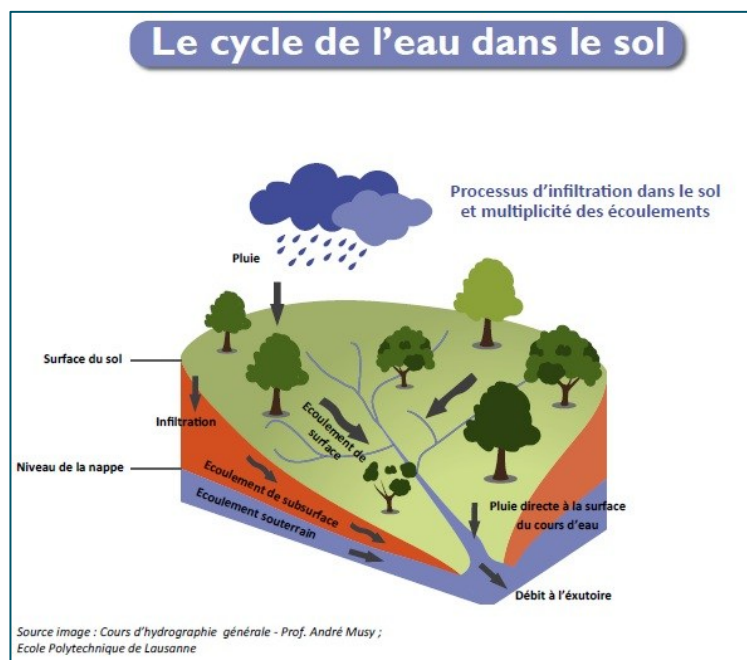
Le bassin versant du Ruisseau d'Acquin (entre Lumbres et Wizernes) mérite aussi d'y prêter attention, étant donné qu'il peut exceptionnellement, comme en 2024, fortement aggraver le pic de crue de l'Aa en aval de Lumbres.

La crue de janvier 2024 a beaucoup été aggravée (40% de ruissellement supplémentaire) par la saturation des sols engendrée par les pluies exceptionnelles des deux mois précédents, ce, sans quoi, elle aurait plutôt été comparable à celle de mars 2002.

Contrairement aux idées reçues, il est avéré que, malgré un état de sols saturé à 100% en hiver lors des fortes crues, il y a quand même en moyenne 75% des volumes de pluie qui s'infiltre dans le sol sur le bassin versant de l'Aa.

Synthèse du cycle de ruissellement / infiltration sur le bassin versant global de l'Aa pour les grandes crues de 2002, 2023 et 2024 :

VOLUME DE PLUIE RUISSELE		21 à 29%
VOLUME DE PLUIE INFILTRE EN SUB-SURFACE	VOLUME DE PLUIE INFILTRE EN PROFONDEUR	71 à 79 %



8. LES OUVRAGES D'EXPANSION DE CRUE PEUVENT-ILS AVOIR AUSSI UNE FONCTION DE « RESERVE D'EAU » EN CAS DE SECHERESSE ?

8.1 Contexte

Il existe plusieurs ouvrages de ralentissement dynamique (ORD) de grande taille sur le bassin versant de l'Aa et du Bléquin, sous forme de retenues collinaires ou de champs d'inondations contrôlées (CIC) :

- 610 000 m³ tamponnés dans 10 CIC le long du Bléquin et de l'Aa ;
- 260 000 m³ tamponnés dans des retenues collinaires en amont de Bourthes et Wicquinghem.

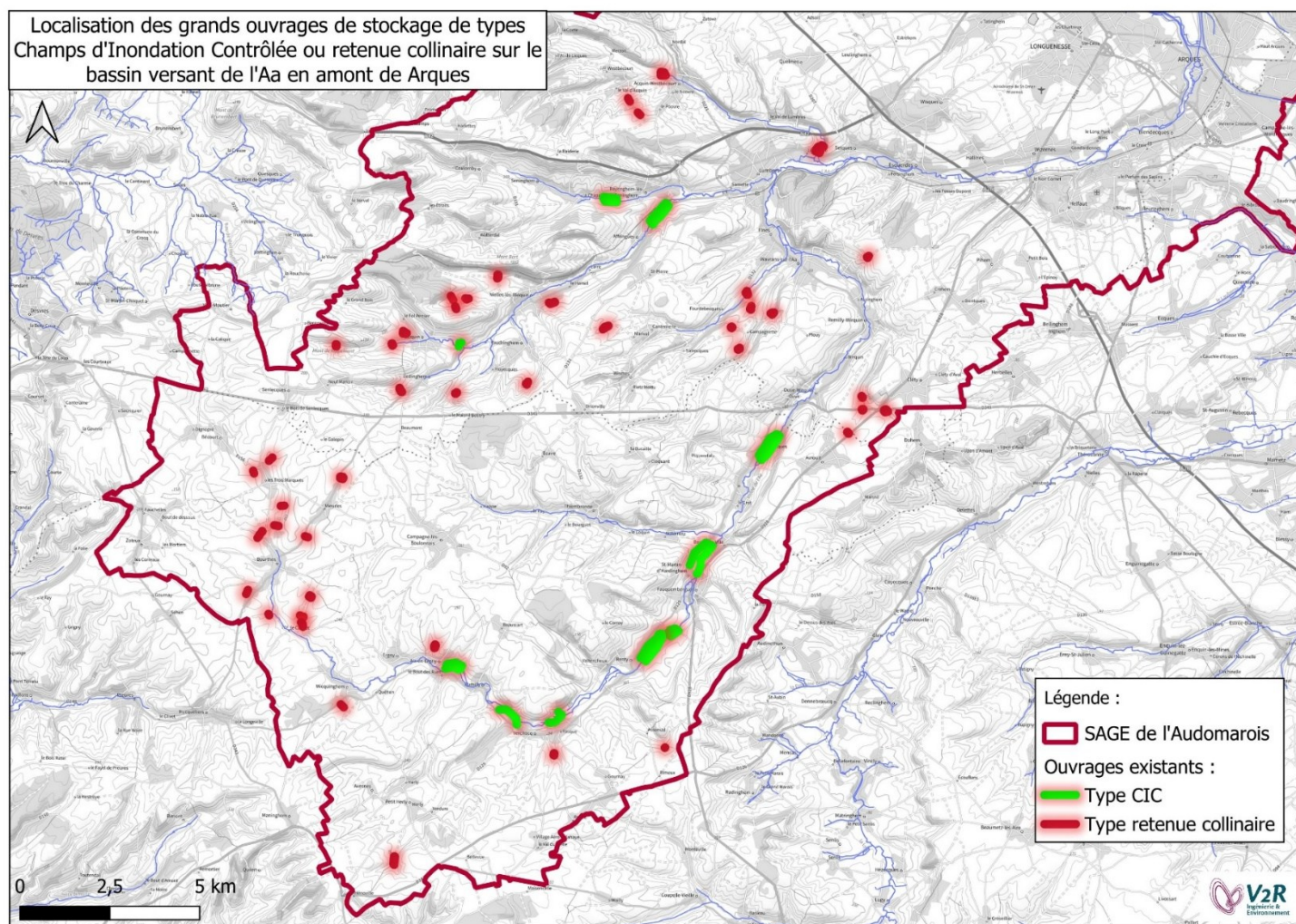


Figure 8-1 Localisation des principales retenues collinaires et CIC sur le bassin versant de l'Aa

La question que se posent certains habitants est de savoir si ces ouvrages peuvent être utilisés aussi pour garder l'eau des crues en vue de l'été et de ses potentielles sécheresses ?

8.2 Analyse technique

Ces ouvrages permettent de réduire le débit de pointe de crue de l'Aa de l'ordre de 10 à 15% pour les crues, y compris les crues majeures de novembre 2023 et janvier 2024.

Rappelons que le volume transité par l'Aa à Wizernes pendant les crues du 6 au 11 novembre 2023 a atteint 10,7 millions de m³, ce qui excède largement ces capacités de rétention. Il est donc logique que l'effet positif de ces ouvrages diminue au fur et à mesure que la crue devienne extrême.

Qu'est-ce qu'une retenue collinaire ?

Une retenue collinaire est une levée de terre dans un fond de vallée sèche (ou traversée par un cours d'eau, dans ce cas-là on parlera aussi de petit barrage). Son but est de réduire le débit du cours d'eau en crue en stockant temporairement un volume important d'eau.

Qu'est-ce qu'un champ d'inondation contrôlée (« CIC ») ?

Ce type de retenue diffère de la retenue collinaire car elle est alimentée par le débordement du cours d'eau en crue dans le fond de vallée (le lit majeur). Une levée de terre aménagée le long de la rivière engendre un surstockage d'eau dans le lit majeur, et réduit le débit de la crue en aval. Il s'agit ici de surinonder un secteur sans enjeu pour en protéger davantage un autre plus exposé en aval.

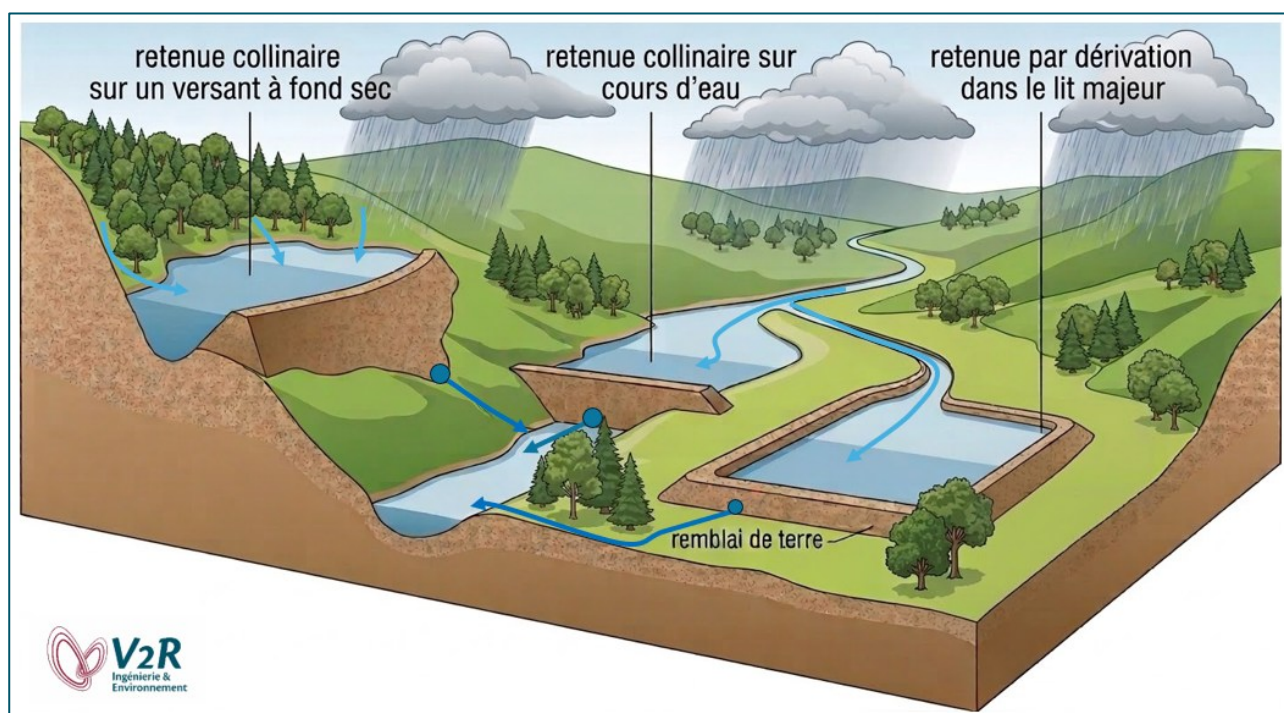


Figure 8-2 Schémas de principe de retenues collinaires et de CIC



Figure 8-3 Photographie aérienne du CIC 1 à Saint-Martin-d'Hardinghem pendant la crue du 11 novembre 2023 (source : DREAL)



Figure 8-4 Photographie aérienne du CIC 6 (Renty) pendant la crue du 11 novembre 2023 (source : SmageAa)



Figure 8-5 Photographie aérienne du CIC 3 (Aix-en-Ergny) pendant la crue du 11 novembre 2023 (Source : SmageAa)



Figure 8-6 Photographie aérienne du CIC 7 (Merck-St-Liévin) pendant la crue du 11 novembre 2023
(source : DREAL)

Quelques heures suffisent pour remplir les CIC. Le niveau de chacun d'entre eux est suivi en temps réel par le SmageAa, voici ci-dessous quelques données de leur remplissage pendant les crues de Novembre 2023 :

CIC 2 à Verchocq :

L'ouvrage s'est rempli en totalité en fin de journée du 6 novembre, a débordé jusqu'à 8 novembre, puis est resté plein ou presque plein jusqu'à la seconde crue du 11 novembre car le niveau de l'Aa est resté haut et la pluie a continué pendant toute la période. Il a débordé pendant la seconde crue.

Il s'est vidangé environ en 24 heures pendant la décrue.



Figure 8-7 Courbes de remplissage du CIC 2 pendant la crue de novembre 2023

CIC 1 à Saint-Martin-d'Hardinghem :

L'ouvrage s'est rempli en totalité en fin de journée du 6 novembre, puis est resté plein et en situation de débordement jusqu'à la seconde crue du 11 novembre car le niveau de l'Aa est resté haut et la pluie a continué pendant toute la période. Il s'est vidangé environ en 3 jours pendant la décrue.

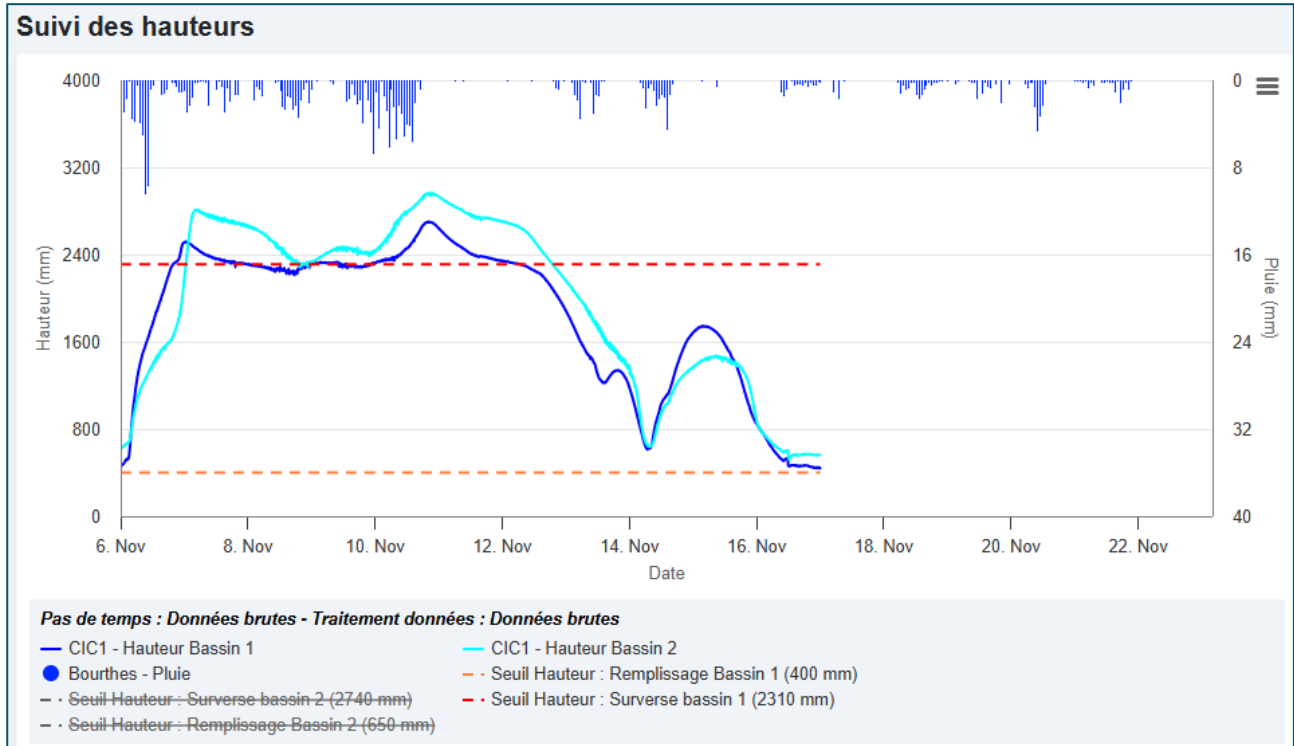


Figure 8-8 Courbes de remplissage du CIC 1 pendant la crue de novembre 2023

CIC 7 à Merck-Saint-Liévin :

L'ouvrage s'est rempli en totalité en fin de journée du 6 novembre et a très faiblement débordé, puis s'est vidangé en 2 journées. Il s'est à nouveau rempli et a débordé plus fortement pendant la crue du 11 novembre. Il s'est vidangé environ en 2 jours pendant la décrue.

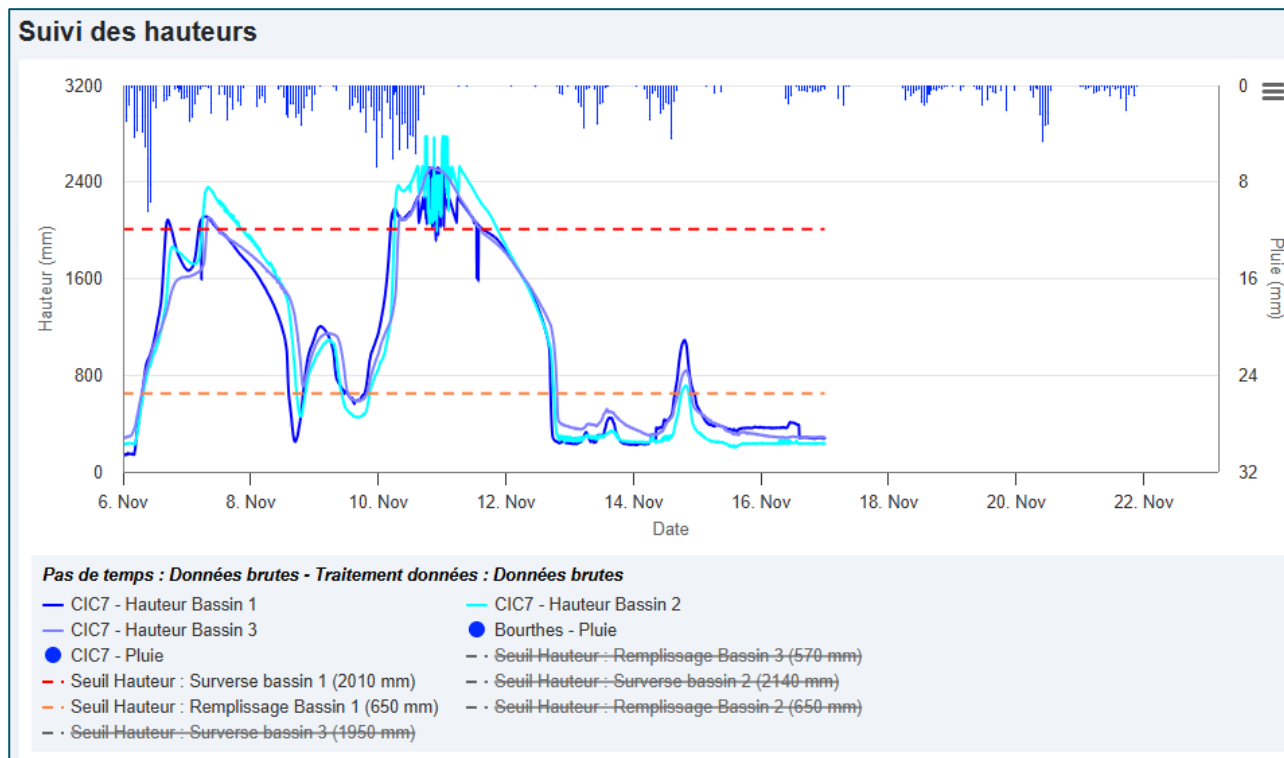


Figure 8-9 Courbes de remplissage du CIC 7 pendant la crue de novembre 2023

CIC 12 à Affringues :

L'ouvrage s'est rempli rapidement en totalité en journée du 6 novembre, puis s'est vidangé tout aussi rapidement à chaque décrue. L'ouvrage réagit rapidement et fortement à chaque crue moyenne à forte du Bléquin.

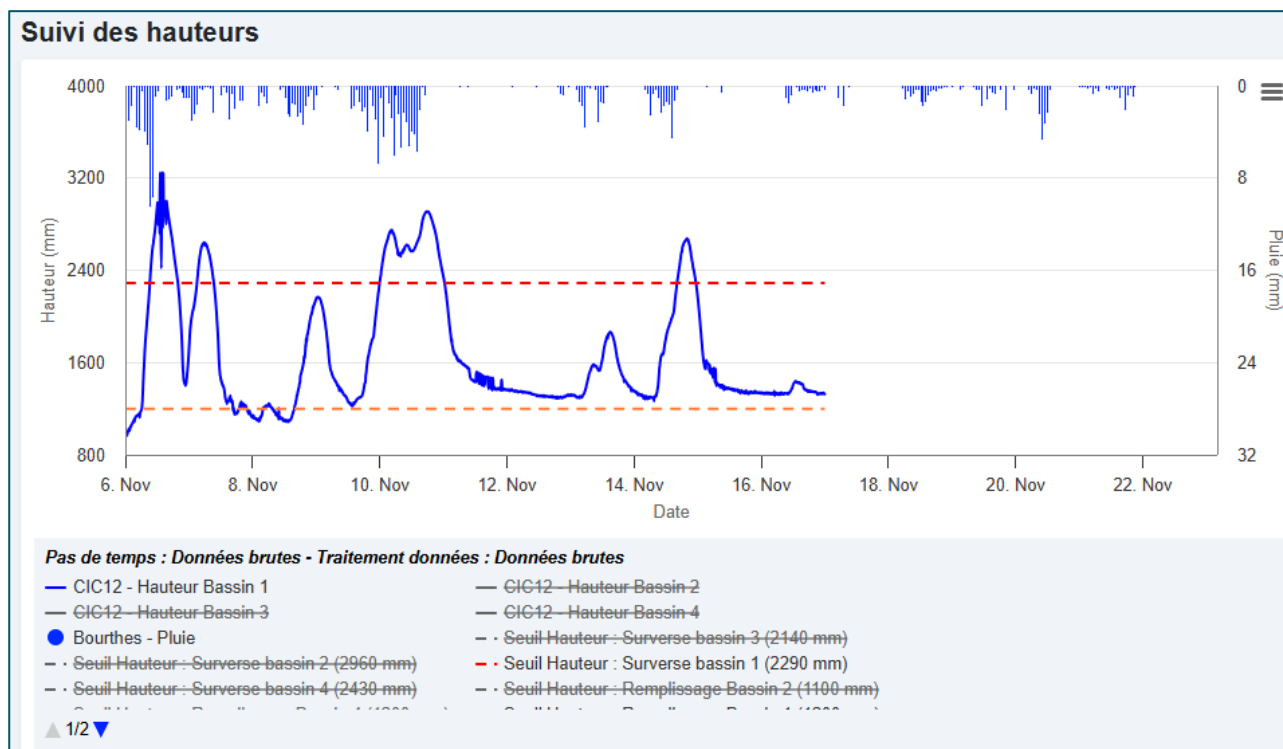


Figure 8-10 Courbes de remplissage du CIC 12 pendant la crue de novembre 2023

8.3 Conclusion

Les ouvrages de ralentissement dynamique, les retenues collinaires et les petits barrages aménagés sur le bassin versant de l'Aa dans son ensemble sont des ouvrages de gestion des inondations qui ne peuvent pas servir de stockage :

- Ces ouvrages sont prévus pour réduire les débits de crue en stockant temporairement de l'eau.
- S'ils ne se vidangent pas après la 1ère crue hivernale, la crue suivante ne pourra pas être gérée.
- D'autre part, ils sont aménagés sur un sol naturel non étanche. Le processus d'infiltration des eaux les videra de toute façon en quelques jours ou semaines au grand maximum.

Le retour d'expérience des crues de novembre 2023 démontre bien l'importance de la mise à disposition la plus rapide possible du volume de stockage disponible du CIC en prévision d'une nouvelle crue.

9. QUELLE IMPORTANCE PEUT AVOIR LE NIVEAU DE SATURATION DES SOLS SUR LES CRUES ?

9.1 Contexte

L'état de saturation préalable des sols est primordial dans le risque de genèse du ruissellement, et donc des crues et des inondations.

Cet état de saturation et le risque de ruissellement associé dépend :

- De la nature du sol de surface (pédologie) ;
- De la nature du sous-sol (si le sol est imperméable ou non sous la partie superficielle : transit possible ou non de l'eau dans les couches profondes) ;
- Des quantités de pluies préalables à l'événement pluvieux critique ;
- De la quantité de pluie et son intensité lors de l'événement pluvieux critique.

L'image d'une éponge pour figurer l'état de saturation d'un sol n'est pas bonne. Une éponge gorgée d'eau ne peut plus absorber d'eau, ce n'est pas le cas d'un sol. Si l'on souhaite utiliser une image plus adéquate, un sablier serait plus adapté :

- **L'éponge (Modèle de Stockage) :** Elle explique pourquoi le sol boit l'eau au début. Elle illustre la **porosité efficace**. Une fois que l'éponge est pleine, elle ne peut plus rien retenir de plus.
- **Le sablier (Modèle de Flux) :** Il illustre la **conductivité hydraulique (K)**. L'eau remplit le sablier et comble les pores disponibles. Mais même saturé et avec une capacité de stockage devenue nulle, le sablier va laisser passer l'eau par effet de percolation.

Bien sûr ce sont des métaphores réductrices de la réalité, mais celle du sablier est beaucoup plus représentative.

Dans un sol saturé, l'eau continue effectivement de s'infiltrer, mais à une vitesse constante et souvent très faible, appelée **conductivité à saturation (Ksat)**.

Le risque de crue survient selon deux mécanismes que le sablier aide à comprendre :

1. **L'intensité dépasse la capacité ($i > K$) :** Si la pluie tombe plus vite que le sable ne peut s'écouler dans le goulot du sablier, l'eau s'accumule au-dessus. C'est le **ruissellement hortonien**.
2. **Le réceptacle est plein :** C'est là que le sablier a ses limites par rapport au sol. Dans la nature, sous le « sablier » (le sol), il y a souvent une nappe phréatique ou un autre type de sol parfois imperméable (argile). Si la nappe remonte jusqu'à la surface (saturation par le bas), le sablier est noyé et l'eau ne peut physiquement plus descendre (ou beaucoup plus lentement), peu importe la perméabilité du sol.

Même si l'eau circule toujours dans un sol saturé, elle le fait beaucoup trop lentement pour empêcher une crue lors d'un épisode pluvieux intense.

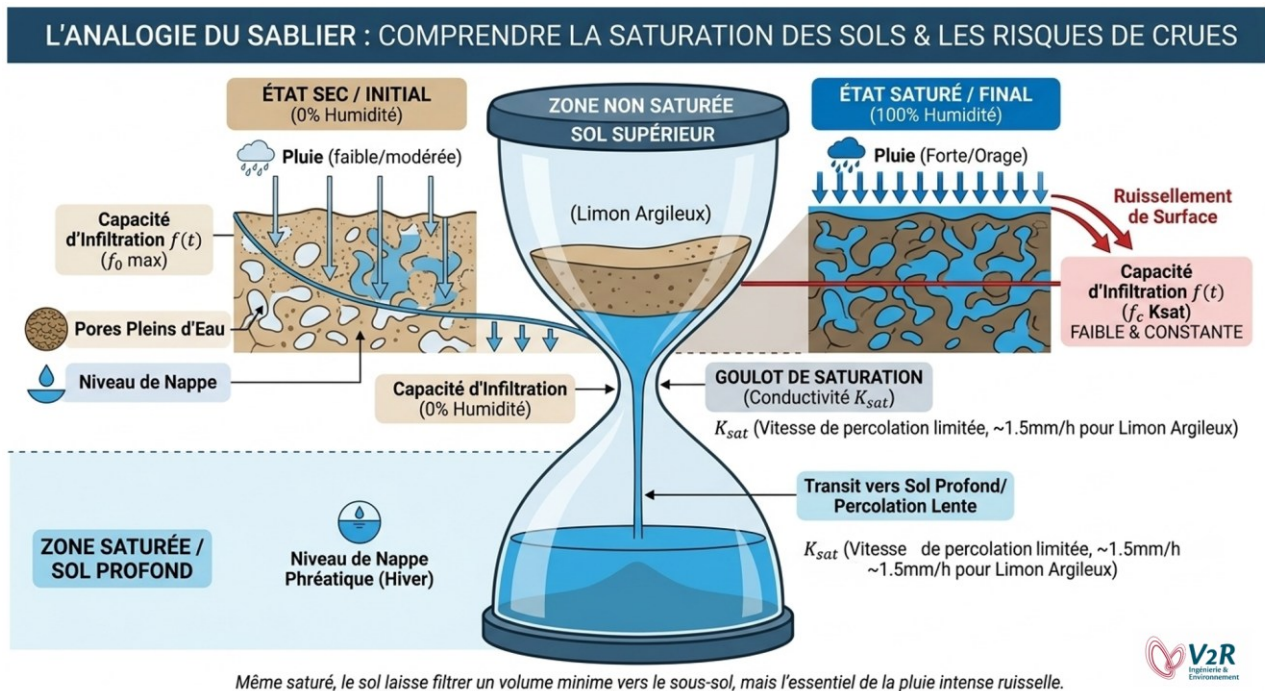


Figure 9-1 analogie du sablier pour illustrer un état de saturation des sols et l'impact sur le risque de ruissellement

L'équation de Horton est la base de nombreux modèles de prévision de crues et intègre cette notion de saturation progressive des sols. Elle modélise la **décroissance exponentielle** de la capacité d'un sol à absorber l'eau au fur et à mesure qu'il se gorge.

La capacité d'infiltration « f » à un instant t (en mm/h) s'exprime par :

$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt}$$

Où :

- **f_c** : Capacité d'infiltration finale (à saturation). C'est le "goulot" de votre sablier.
- **f₀** : Capacité d'infiltration initiale (au début de la pluie).
- **k** : Constante de décroissance (dépend de la texture du sol et de la couverture végétale).
- **t** : Temps écoulé depuis le début de l'averse.

Sources :

- Horton, R. E. (1941). *An approach toward a physical interpretation of infiltration-capacity*.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*.

9.2 Analyse

Tout d'abord il s'agit de caractériser les types de sol (pédologie) présents sur le bassin versant de l'Aa.

La carte ci-dessous a été établie sur la base du référentiel régional pédologique de la région Nord-Pas-de-Calais au 1/250000^{ème} (INRA, ISA Lille, Hervé Fourier, Sébastien Detriche, François Douay) :

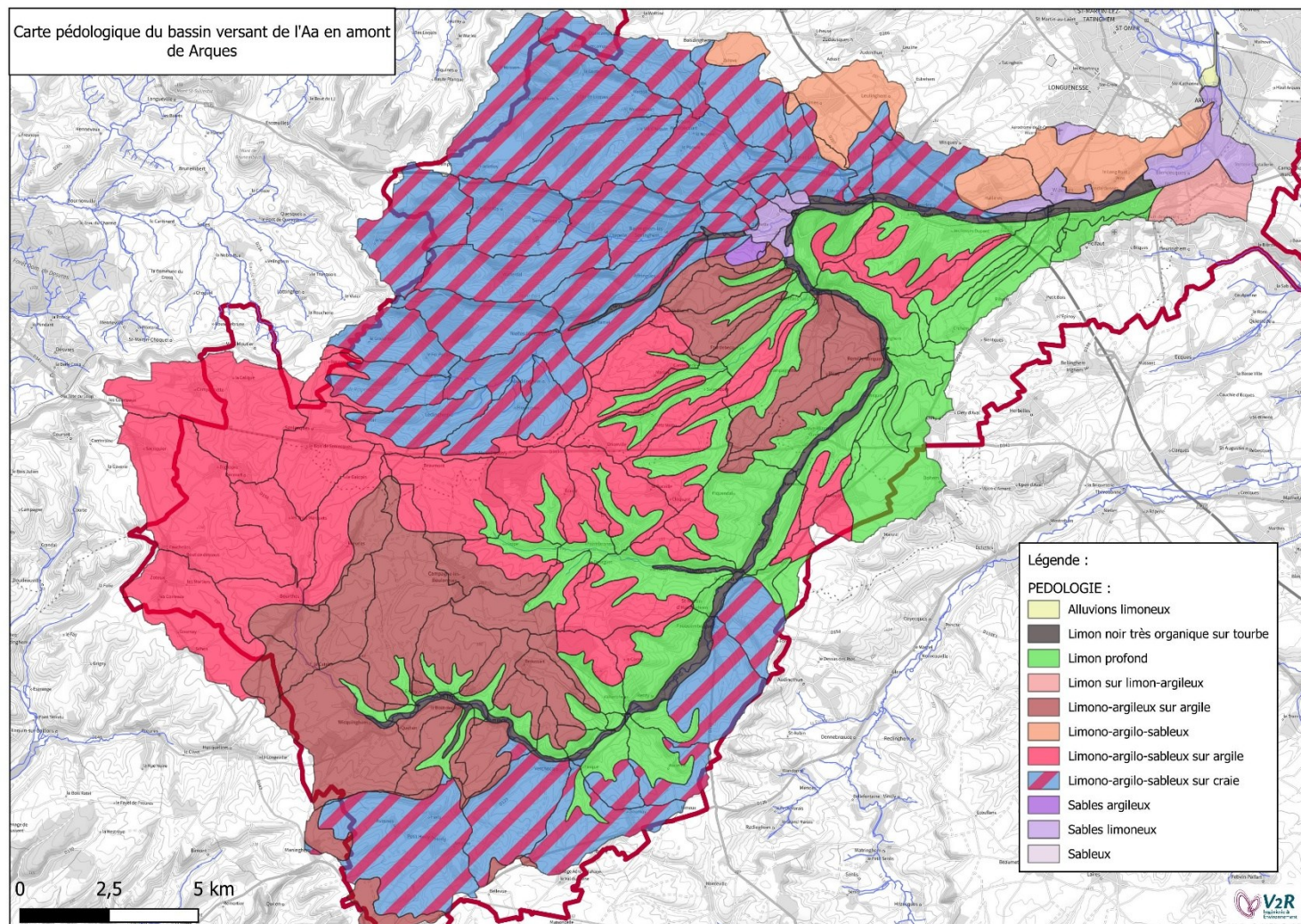


Figure 9-2 Carte pédologique du bassin versant de l'Aa en amont de Arques

De manière simplifiée, on observe que les limons sont ultra prédominants sur le territoire, avec quelques nuances :

- Des limons argileux à argilo-sableux, reposant sur de l'argile à faible profondeur, sur l'amont du bassin versant (les zones en couleurs rouges à marron). Ces sols sont assez perméables hors période de saturation mais peuvent rapidement devenir très peu perméables dès lors qu'ils se sont pour tout ou partie saturés (notamment après les premières longues périodes pluvieuses automnales). Le socle argileux, imperméable, à faible profondeur rend le secteur très sensible au ruissellement en hiver, après plusieurs semaines de pluie ;

- Des limons argilo-sableux reposant sur de la craie à faible profondeur. Le sol présente les mêmes caractéristiques que le précédent en surface, mais repose a contrario sur une formation plutôt perméable à faible profondeur (la craie). La réaction au ruissellement sera donc davantage dépendante de l'intensité des pluies sur ces secteurs que du cumul de pluie pendant les semaines préalables, car le « fond » est plutôt drainant.
- Des limons profonds sur les versants de la vallée de l'Aa, sur les coteaux crayeux. Ces sols sont par nature plutôt perméables. La pente très forte des terrains sur les coteaux de vallée peuvent néanmoins y contribuer aux ruissellements lors des fortes pluies.
- Des limons organiques sur tourbes dans le fond de vallée (les colluvions, alluvions de l'Aa). Ils sont très hydromorphes (donc très souvent saturés en eau, notamment en hiver).

Le code de couleurs de la carte n'est pas choisi par hasard, et il faut bien comprendre que les couleurs rouges / marrons sont associées aux risques maximums de ruissellement liés à la saturation en eau des sols.

Nous allons prendre un exemple concret pour simuler par le calcul avec l'équation d'Horton la capacité d'infiltration d'un sol argilo-limoneux en fonction de son état de saturation.

Pour nos calculs, nous allons fixer les paramètres standards pour un limon argileux :

- **$f_c = 1,5 \text{ mm/h}$** (valeur typique pour un limon-argileux à saturation).
- **$f_0 \text{ (sol sec)} = 25 \text{ mm/h}$** (très haute absorption initiale).
- **$k = 3h^{-1}$** (la vitesse à laquelle le sol perd sa capacité d'absorption, le sol sature vite).

État Initial du sol	Humidité	f_0 (mm/h)	État de la couche de sol
Sec (0% d'humidité)	0%	25	Vide, prête à absorber
Peu humide (30% d'humidité)	30%	18	$1,5 + (25 - 1,5) \times 0,7$
Humide (60% d'humidité)	60%	10,9	$1,5 + (25 - 1,5) \times 0,4$
Saturé (100% d'humidité)	100%	1,5	Pleine, pas de stockage, seul un transfert lent vers les couches profondes.

Ce tableau illustre que la capacité d'infiltration de ce sol limono-argileux (typique de ce que l'on retrouve que la majorité du bassin versant de l'Aa), décroît fortement avec son état de saturation. Tant qu'il n'est pas saturé et juste « humide », c'est-à-dire concrètement du printemps au début de l'automne pour une année type), il peut absorber des intensités assez importantes de pluie avant ruissellement (plus de 10mm/h pour un sol dit humide), plus de 18mm/h pour un sol peu humide. Dans cet exemple, le sol ne ruisselle que pour des pluies très fortes et intenses de types orageuses.

A saturation de 100%, le sol ne peut infiltrer que 1,5mm/h de pluie. Sur 24 heures, cela représente 36mm. C'est un cumul assez important, pour la plupart des pluies hivernales de faible intensité cela passe avec très peu de ruissellement. Cependant, pour des pluies plus intenses, le ruissellement va être important et immédiat.

Ce fonctionnement de saturation progressive du sol et de réactivité petit à petit plus forte au ruissellement est fondamental dans la compréhension des risques d'inondations.

Ainsi, par exemples :

- Un orage de 80mm en 2 heures en plein été pourra générer des ruissellements même si le sol est sec ou très peu humide à cause de l'intensité trop élevée. Cas d'école :
 - Sol sec = 25 mm/h de capacité d'infiltration
 - Orage de 40 mm/h pendant 2 heures
 - Volume infiltré = 50mm en 2 heures
 - Volume ruisselé = 30mm au total.
- Une pluie longue de faible intensité en hiver (par exemple 40mm en 24 heures avec 3 à 4 mm/h d'intensité maximale, sur un sol seulement « humide – 60% de saturation », ne va pas ou très peu ruisseler (capacité d'infiltration d'environ 10 mm/h). Par contre, elle va contribuer à la saturation du sol...
- Et cette même pluie sur un sol saturé à 100% pourra engendrer du ruissellement puisque les intensités de pluie excéderont temporairement le « seuil » de 1,5mm /h acceptable à l'infiltration.

Concrètement sur le bassin versant de l'Aa :

Exemple de l'orage très violent du 01/08/2024, intensité très forte pendant 1 heure, durée totale de l'événement = 6 heures avec 54,4mm précipités :

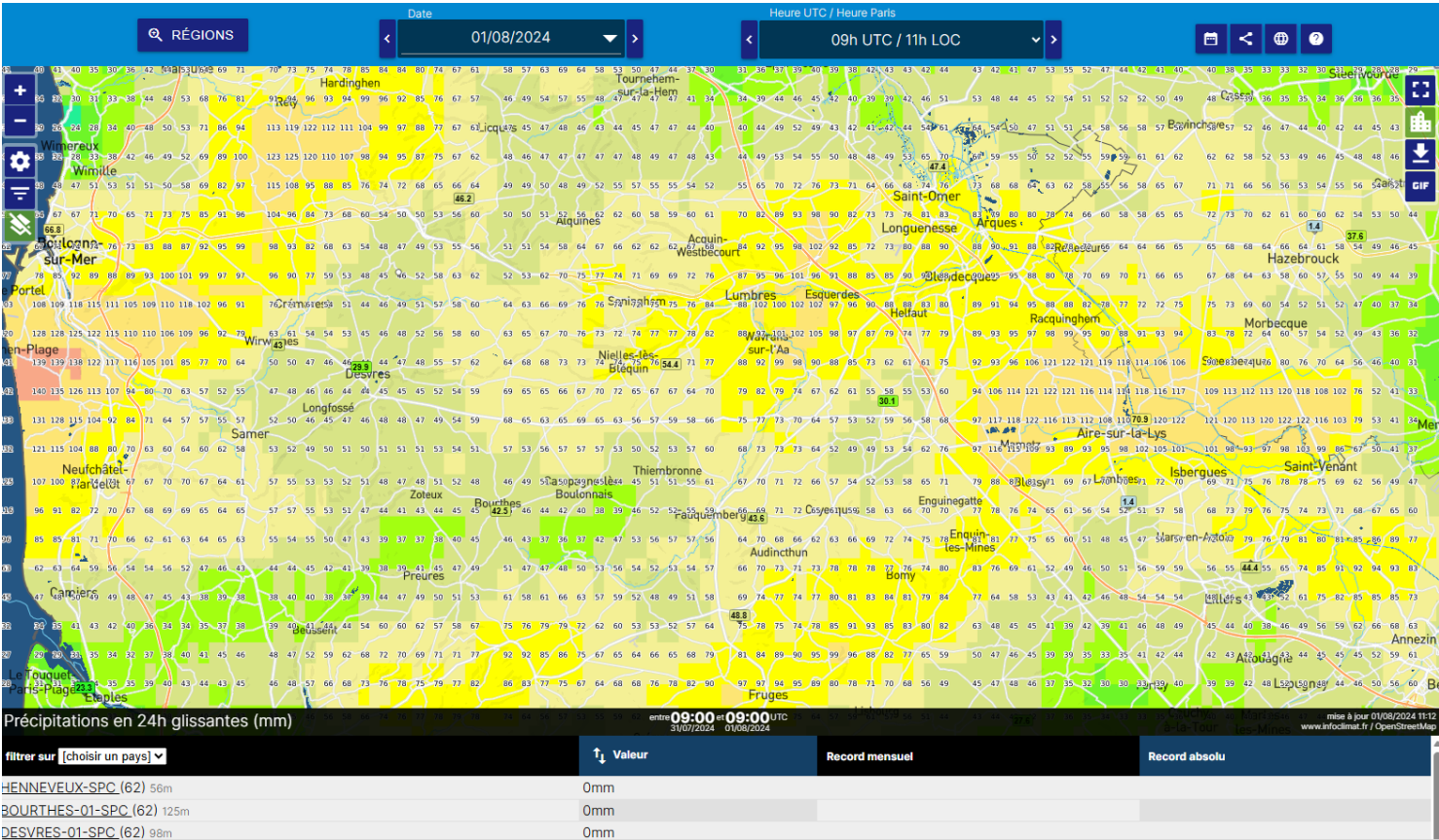
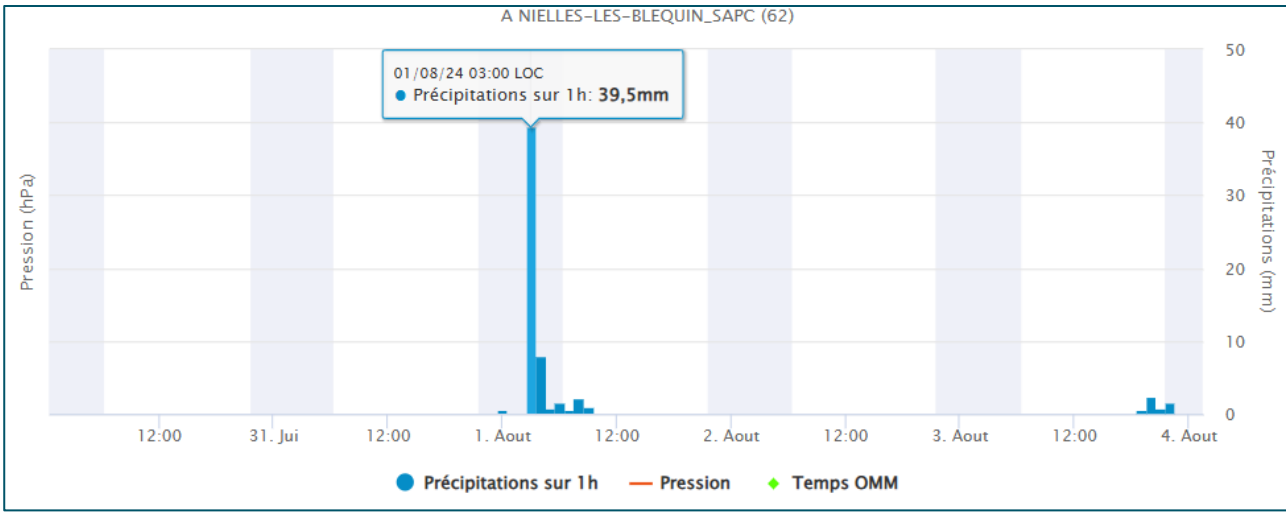


Figure 9-3 Pluie mesurée à Nielles-les-Bléquin et image radar de la pluie du 01/08/2024 (source : www.infoclimat.fr)

Cumuls mesurés sur quelques pluviographes :

- Nielles-les-Bléquin : 54,4mm (dont 39,5mm en 1 heure)
- Bourthes : 42,5 mm
- Fauquembergues : 43,6 mm
- Saint-Omer : 47,4 mm
- Herbelles : 30,1mm

Cette pluie orageuse avait une très forte intensité et une grande étendue géographique. Elle a concerné dans sa totalité le bassin versant de l'Aa. De tels cumuls et intensités de pluies devraient en théorie générer un débit de crue d'au moins 40 m³/s à Wizernes en période hivernale.

L'indice d'humidité des sols au 1^{er} août 2024 était de 50 à 60% sur le secteur du bassin versant de l'Aa, indiquant un sol moyennement humide :

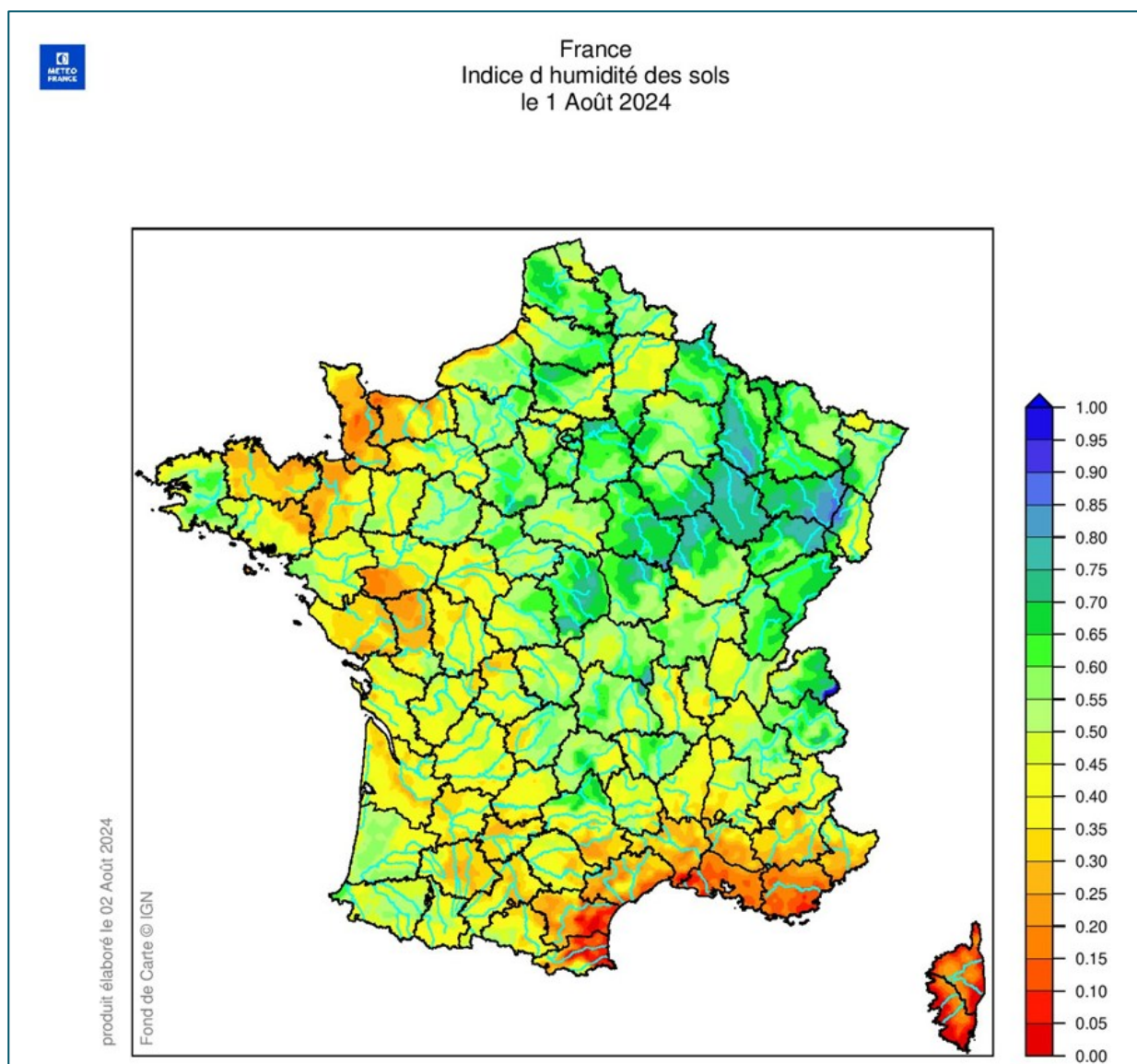


Figure 9-4 Indice d'humidité des sols en France au 1^{er} août 2024 (source : Météo France)

Les mesures réalisées aux stations vigicrues de l'Aa à Fauquembergues, du Bléquin à Lumbres et de l'Aa Wizernes confirment une forte réaction très rapide des cours d'eau et donc un ruissellement important sur l'amont du bassin versant de l'Aa :

Seulement 5 m³/s à Fauquembergues, ce qui est une valeur plutôt basse compte-tenu de la taille du bassin versant en amont, mais il existe de nombreux ouvrages hydrauliques (retenues collinaires, CIC) qui ont atténué le pic de crue :

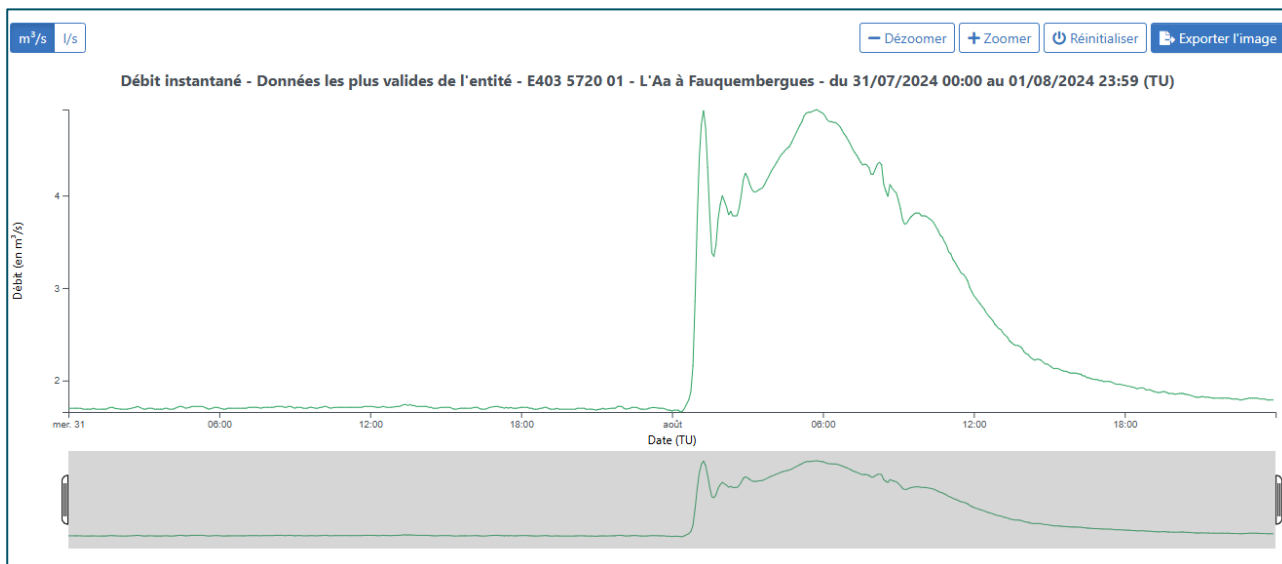


Figure 9-5 Hydrogramme de débit de l'Aa à Fauquembergues le 1^{er} août 2024 (source : Météo France)

13,5 m³/s pour le Bléquin à Lumbres (valeur exceptionnellement haute en pleine saison estivale) :

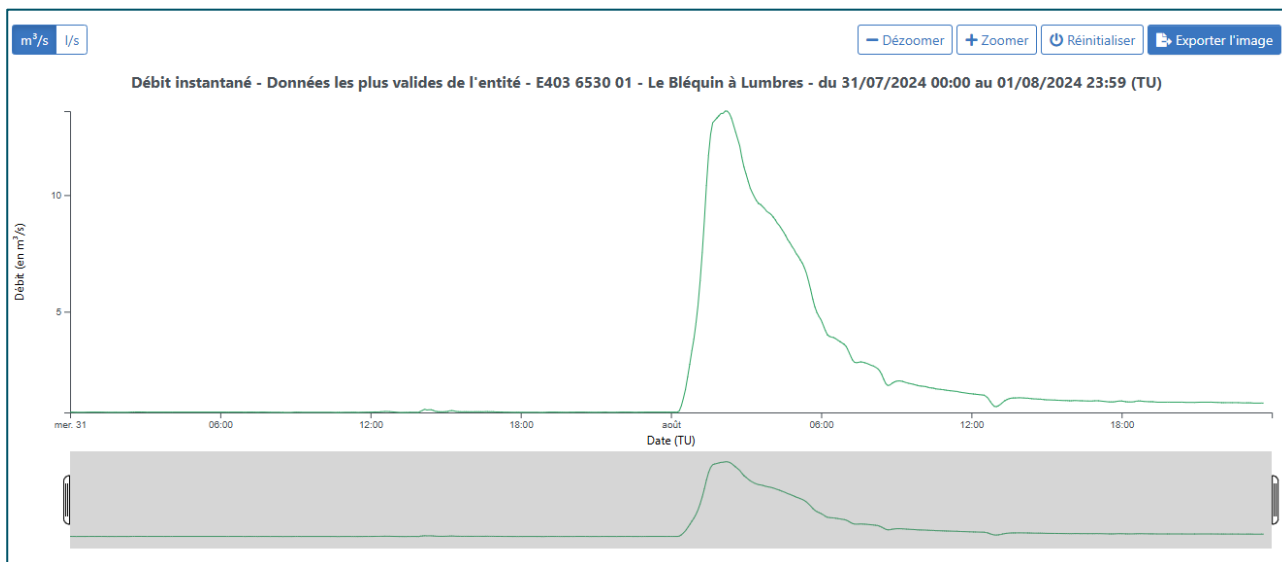


Figure 9-6 Hydrogramme de débit du Bléquin à Lumbres le 1^{er} août 2024 (source : Météo France)

43 m³/s à Wizernes (valeur exceptionnellement haute en pleine saison estivale, c'est autant que le débit de pointe de la crue de fin décembre 1999) :

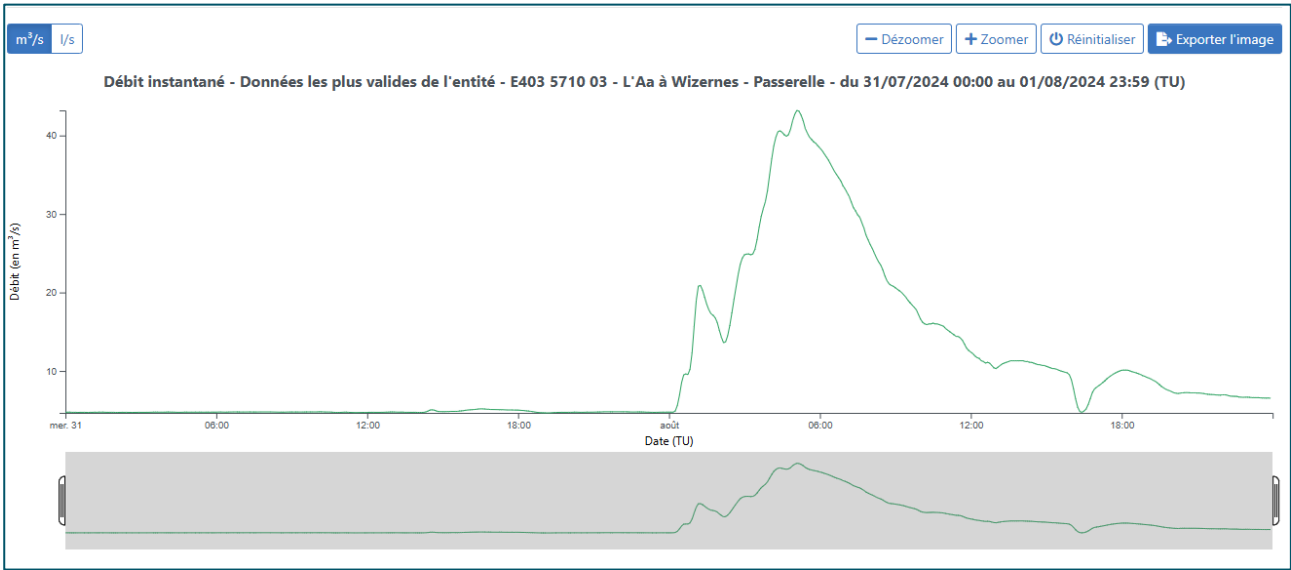
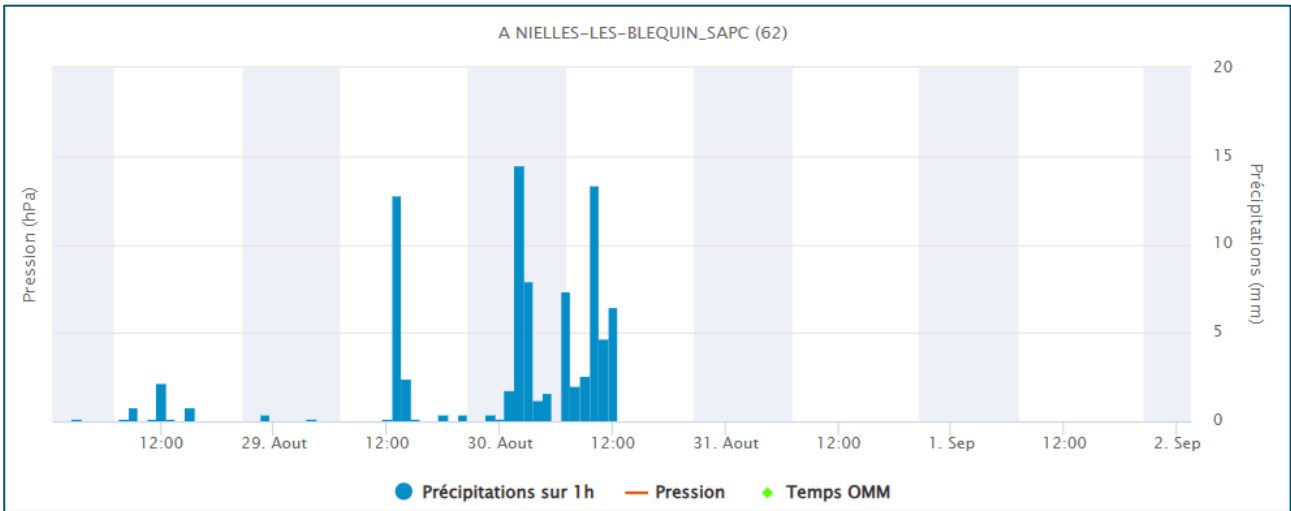


Figure 9-7 Hydrogramme de débit de l'Aa à Wizernes le 1^{er} août 2024 (source : Météo France)

Exemple des successions d'orages forts du 29 août au 30 août 2020, intensités moyennes à assez fortes :

- 15,2mm en deux heures le 29/08 ;
 - 25,2mm en 4 heures le 30/08 ;
 - 36,6mm en 6 heures le 30/08 ;
- => Durée totale de l'événement = 24 heures avec 80,6mm précipités.



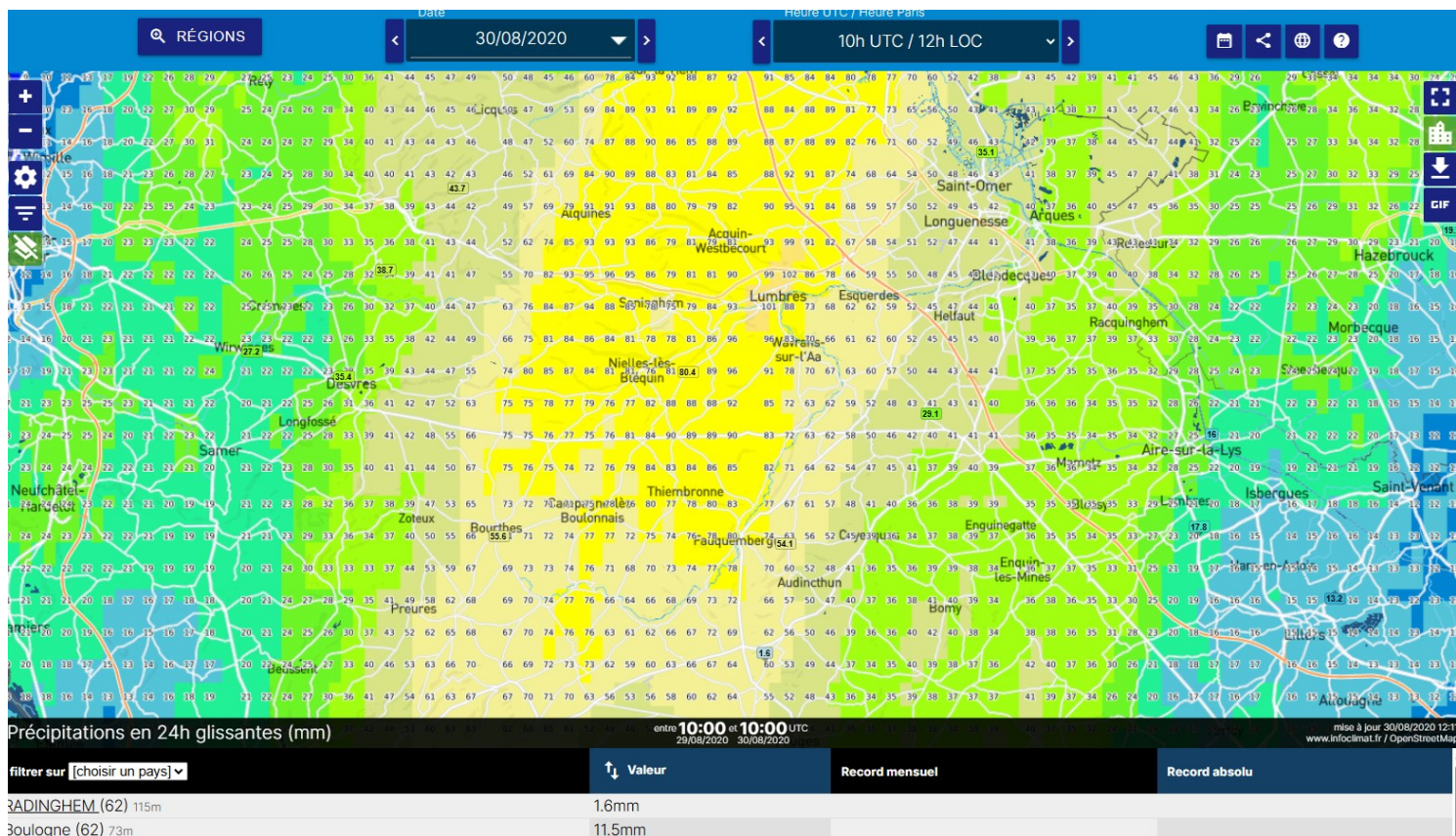


Figure 9-8 Pluie mesurée à Nielles-les-Bléquin et image radar de la pluie du 30/08/2020 (source : www.infoclimat.fr)

Cumuls mesurés sur quelques pluviographes :

- Nielles-les-Bléquin : 80,6mm
- Bourthes : 55,6 mm
- Fauquembergues : 54,1 mm
- Saint-Omer : 35,1 mm
- Herbelles : 29,1mm

Cette pluie orageuse avait de fortes intensités marquées par 3 épisodes successifs en 24 heures, le tout sur une grande étendue géographique. Elle a concerné dans sa totalité le bassin versant de l'Aa. De tels cumuls et intensités de pluies devraient en théorie générer un débit de crue d'au moins 40 à 50 m³/s à Wizernes en période hivernale.

L'indice d'humidité des sols au 1^{er} août 2020 était de 10 à 15% sur le secteur du bassin versant de l'Aa, indiquant un sol sec :

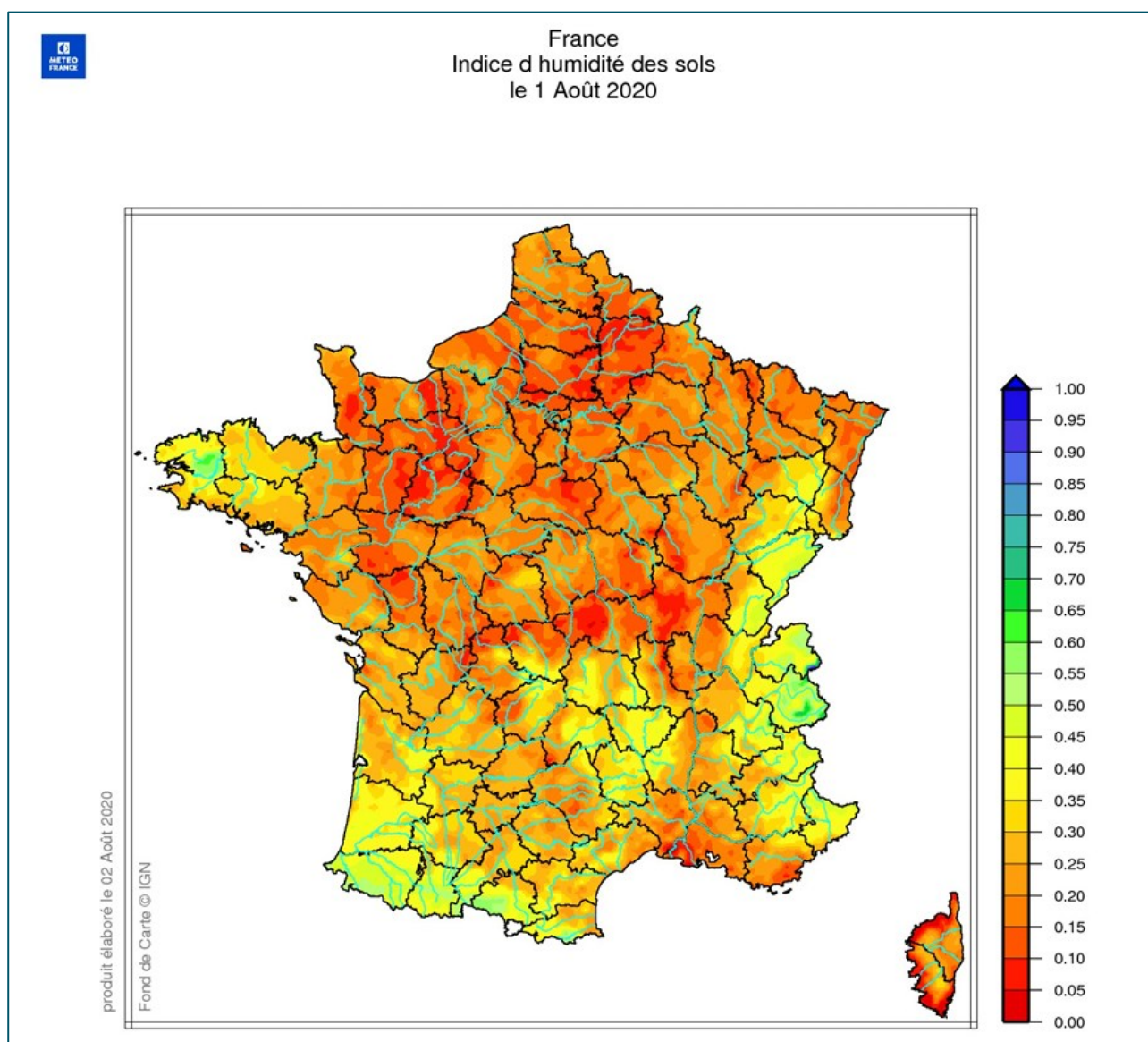


Figure 9-9 Indice d'humidité des sols en France au 1^{er} août 2020 (source : Météo France)

Les mesures réalisées aux stations vigicrues de l'Aa à Fauquembergues, du Bléquin à Lumbres et de l'Aa Wizernes confirment une réaction très faible des cours d'eau et donc une absence de ruissellement notable sur l'amont du bassin versant de l'Aa :

3 m³/s à Fauquembergues :

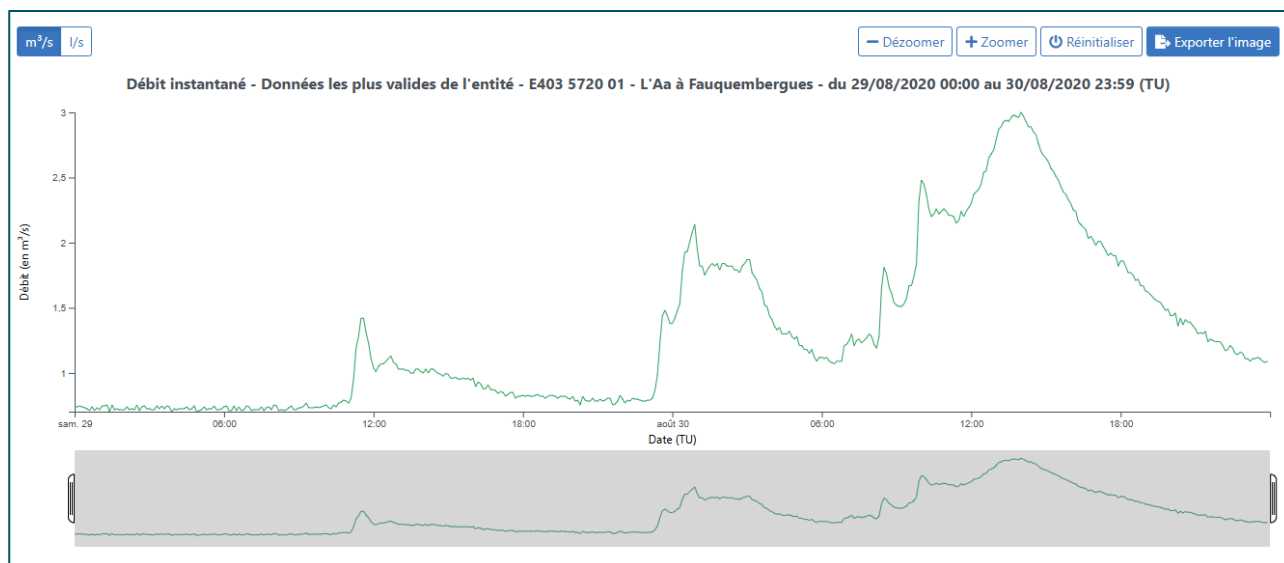


Figure 9-10 Hydrogramme de débit de l'Aa à Fauquembergues le 30 août 2020 (source : Météo France)

2,6 m³/s pour le Bléquin à Lumbres :

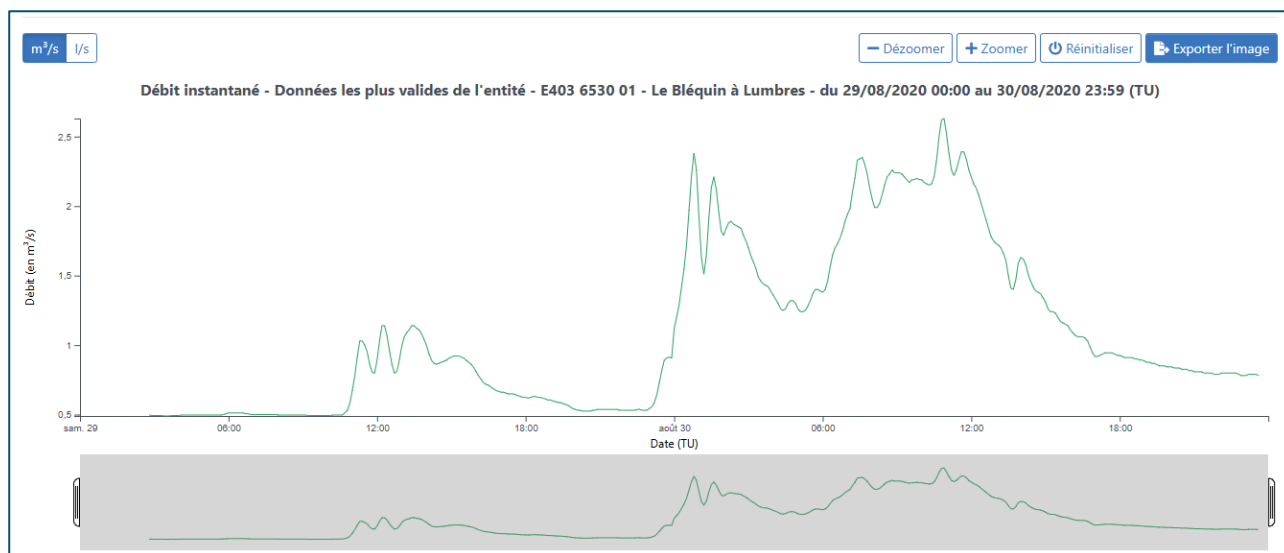


Figure 9-11 Hydrogramme de débit du Bléquin à Lumbres le 30 août 2020 (source : Météo France)

7,3 m³/s à Wizernes :

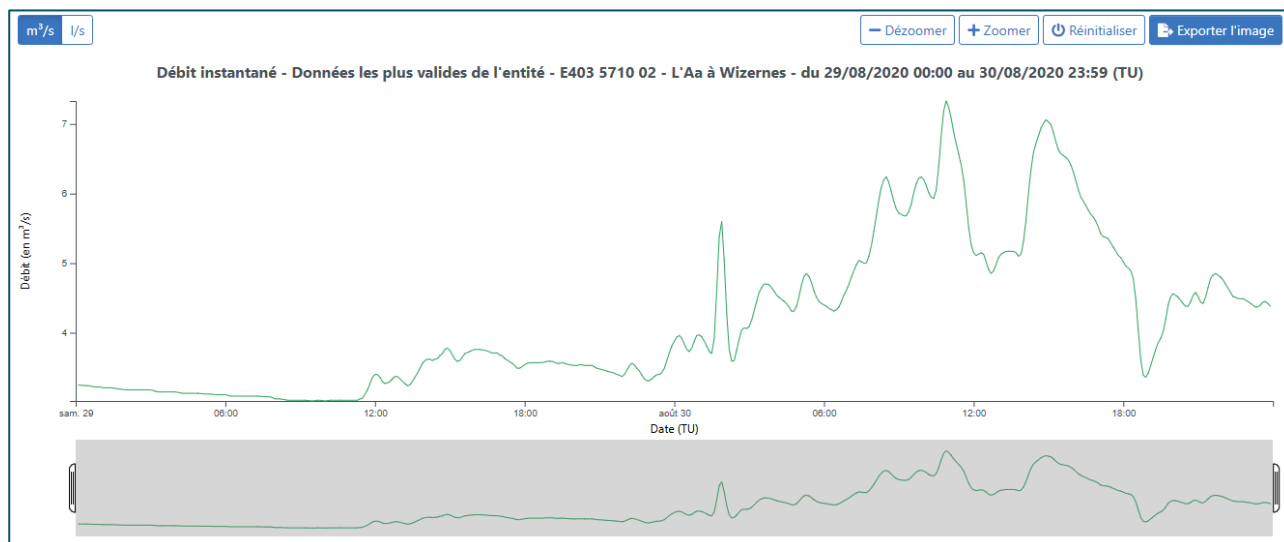


Figure 9-12 Hydrogramme de débit de l'Aa à Wizernes le 30 août 2020 (source : Météo France)

CONCLUSION POUR LA COMPARAISON DE CES DEUX EPISODES ESTIVAUX :

Nous avons comparé deux épisodes de pluies estivales, orageuses, de fortes à très fortes intensités, à une période de l'année similaire en termes de saison et d'occupation des sols culturale : les orages des 29-30 août 2020 avec ceux du 1^{er} août 2024.

Les deux ont générés des pluies très intenses (surtout celui du 1^{er} août 2024), et de gros cumuls de pluies en une période courte (avantage au cumul des pluies du 30 août 2020).

Certes l'intensité de l'orage du 1^{er} août 2024 excède nettement celle du 30 août 2020 (39,5 mm/h pendant 1 heure), mais en 2020 les intensités étaient également fortes (3 épisodes maxi de 13 à 15mm/h pendant 1 heure), et surtout il s'agissait de 3 orages successifs en moins de 24 heures cumulant 80mm en tout à Nielles-les-Bléquin.

En toute logique, la réaction du Bléquin aurait dû être très forte également en 2020, même plus qu'en 2024 avec un effet de cumul de pluies, hors il n'en a rien été : le débit du Bléquin à Lumbres a été de 2,6 m³/s maximum en 2020 alors qu'il a été de 13,5 m³/s maximum en 2024.

Le seul paramètre pouvant expliquer un écart de comportement au ruissellement aussi extrême est l'état de saturation du sol, qui était de 50 à 60% en 2024 contre 10 à 15% en 2020 (d'autres paramètres entrent aussi en jeu : occupation des sols localement différente, température, intensité de la pluie,... mais ne peuvent expliquer à eux seuls un tel écart).

Exemple des pluies du 05 au 06 novembre 2023, intensités faibles à assez faibles (8,7 mm/h maximum) :

- 23,5mm le 05/11 et 54,7mm le 06/11,... (78,2mm en 48 heures).

Avec un maximum de pluie de 44,5mm en 9 heures le 6 novembre (intensité > 6mm/h pendant 5 heures).

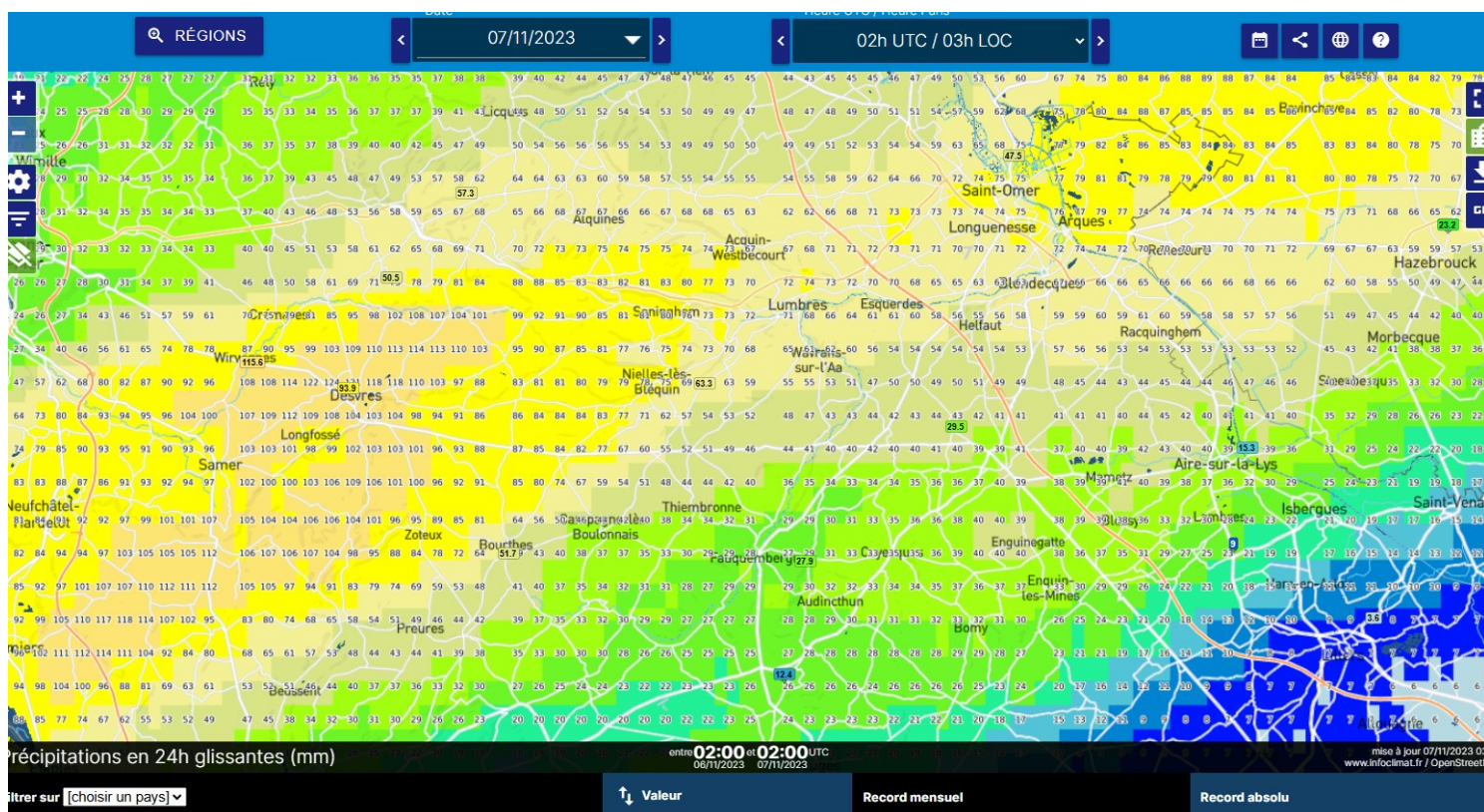
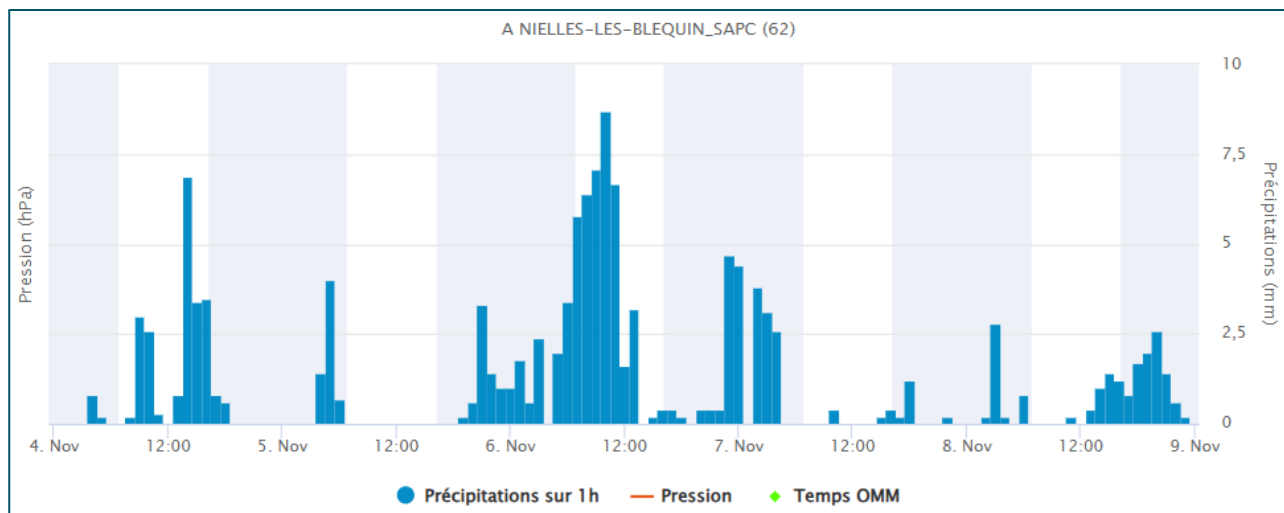


Figure 9-13 Pluie mesurée à Nielles-les-Bléquin et image radar de la pluie du 05 au 06/11/2023 (source : www.infoclimat.fr)

Cumuls mesurés sur quelques pluviographes pendant les 24 heures les plus pluvieuses :

- Nielles-les-Bléquin : 63,3mm
- Bourthes : 51,7 mm
- Fauquembergues : 27,9 mm
- Saint-Omer : 47,5 mm
- Herbelles : 29,5mm

Cette pluie de type orageuse avait des intensités faibles à assez faibles, voire ponctuellement moyenne, surtout sur une étendue géographique côté nord-ouest du bassin versant de l'Aa (rive gauche). Cette crue a engendré des débits très élevés sur l'Aa et le Bléquin (voir hydrogrammes en pages suivantes).

L'indice d'humidité des sols au 1^{er} novembre 2023 était de 75 à 100% sur le secteur du bassin versant de l'Aa, 100% à l'ouest de Lumbres, indiquant un sol saturé sur la très grande majorité du bassin versant :

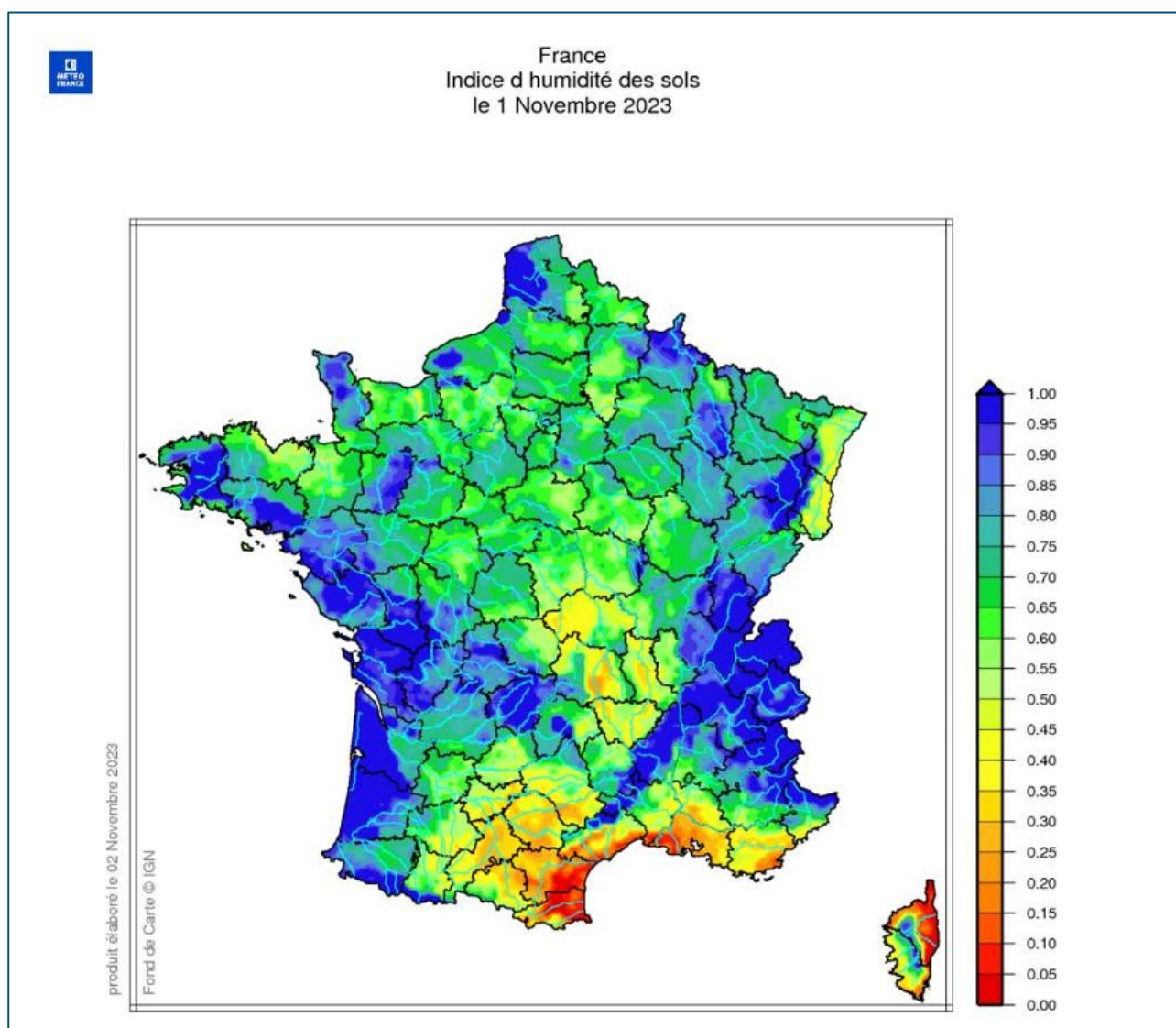


Figure 9-14 Indice d'humidité des sols en France au 1^{er} août 2020 (source : Météo France)

Les mesures réalisées aux stations vigicrues de l'Aa à Fauquembergues, du Bléquin à Lumbres et de l'Aa Wizernes confirment une forte réaction des cours d'eau avec un ruissellement important notamment sur le Bléquin :

18,7 m³/s à Fauquembergues :

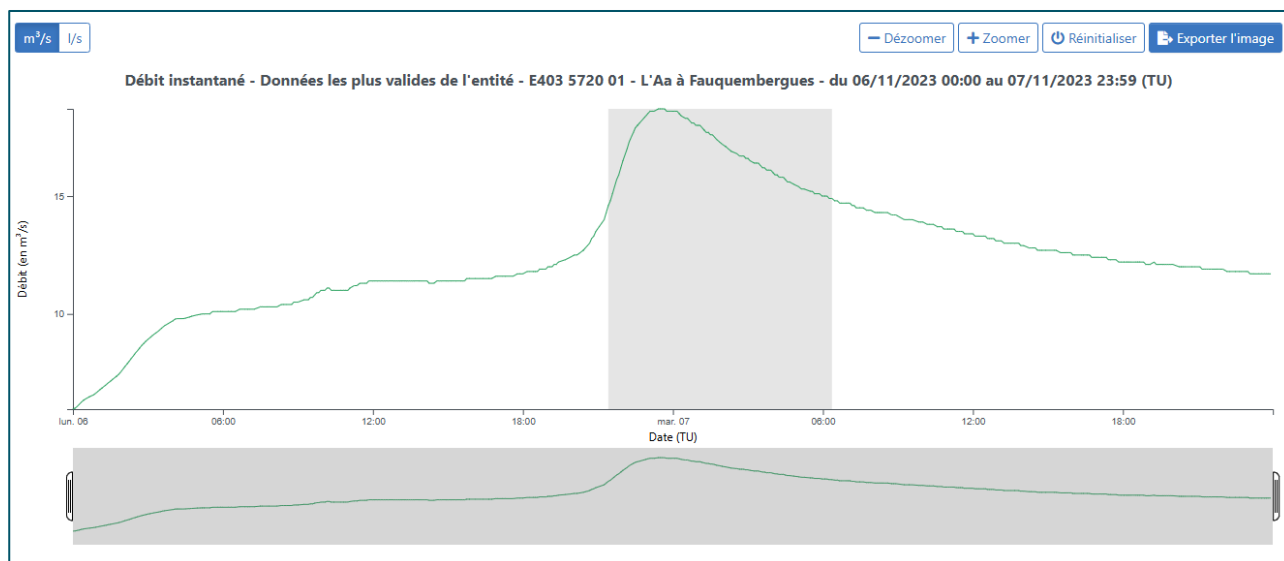


Figure 9-15 Hydrogramme de débit de l'Aa à Fauquembergues le 06 novembre 2023 (source : Météo France)

37,7 m³/s pour le Bléquin à Lumbres :

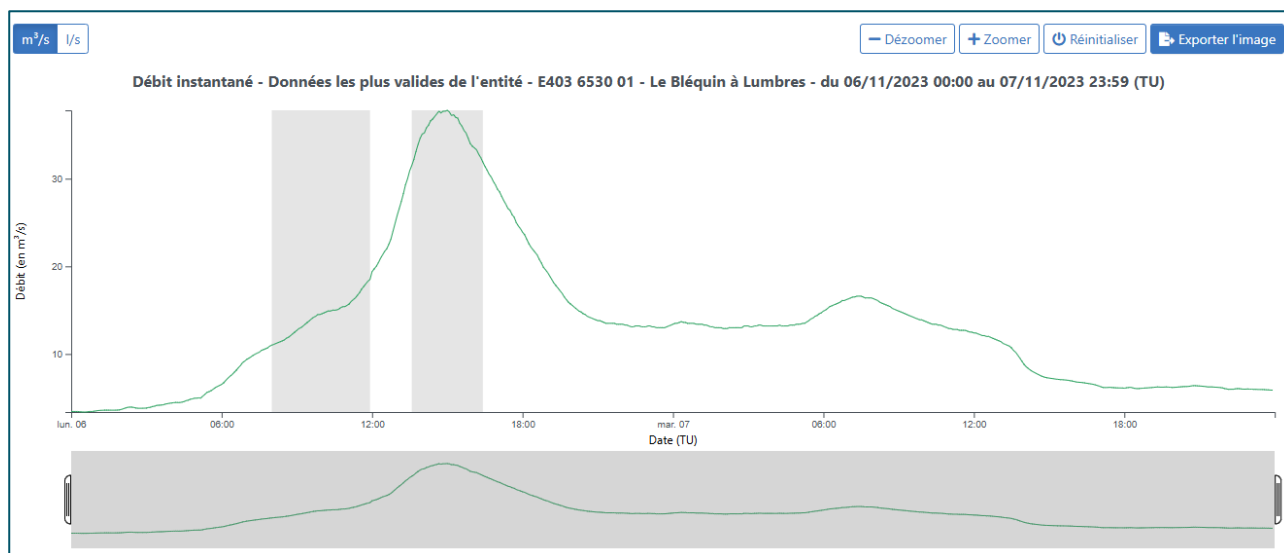


Figure 9-16 Hydrogramme de débit du Bléquin à Lumbres le 06 novembre 2023 (source : Météo France)

66,7 m³/s à Wizernes (record du 1^{er} mars 2002 alors battu) :

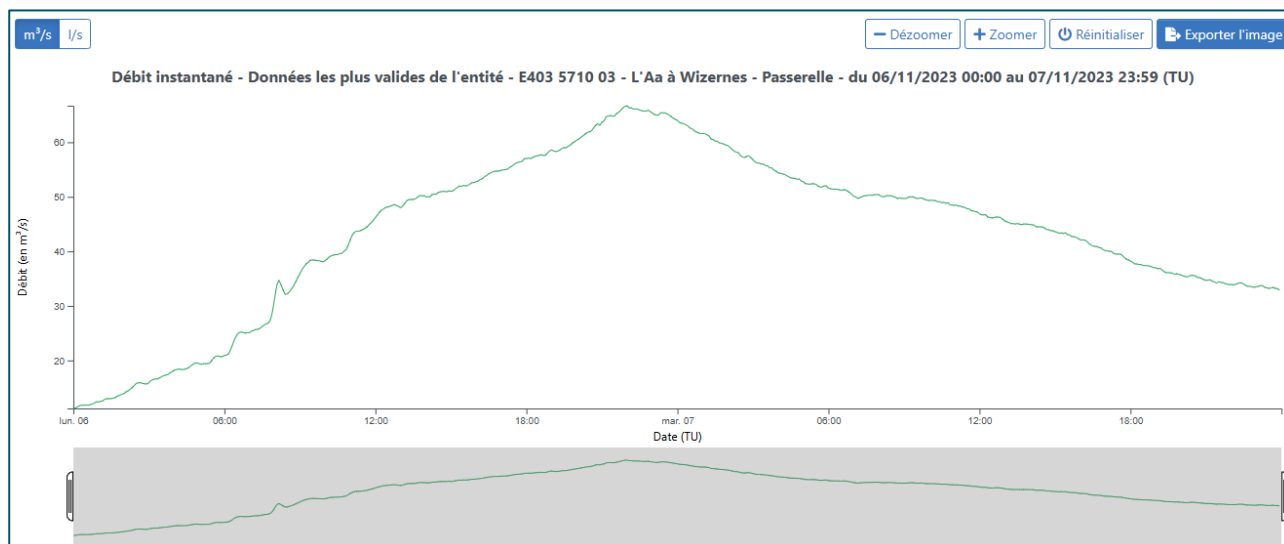
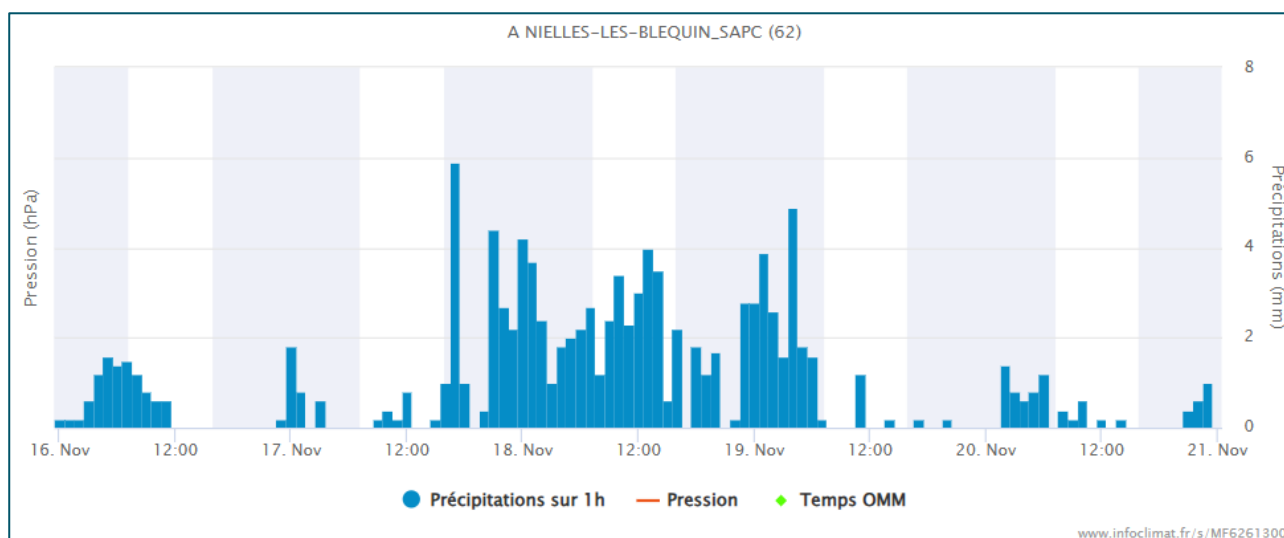


Figure 9-17 Hydrogramme de débit de l'Aa à Wizernes le 06 novembre 2023 (source : Météo France)

Exemple des pluies du 17 au 19 novembre 2016, intensités faibles à assez faibles (5,9 mm/h maximum) :

- 25mm le 17/11, 49,7mm le 18/11 et 19mm le 19/11.

Avec un maximum de pluie de 49,7mm en 24 heures (93,7mm en 48 heures).



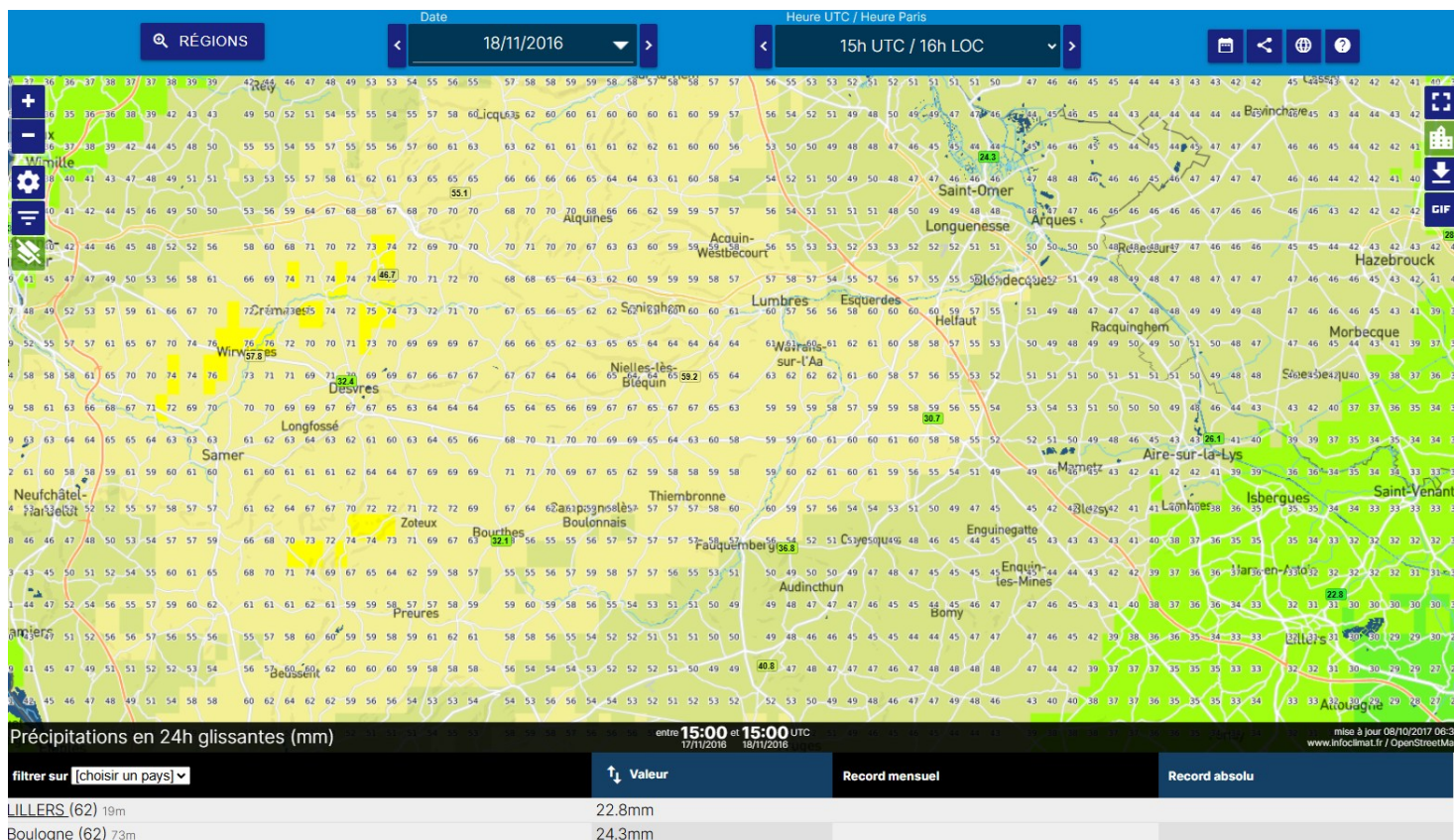


Figure 9-18 Pluie mesurée à Nielles-les-Bléquin et image radar de la pluie du 17 au 19/11/2016
(source : www.infoclimat.fr)

Cumuls mesurés sur quelques pluviographes pendant les 24 heures les plus pluvieuses :

- Nielles-les-Bléquin : 59,2mm
- Bourthes : 32,1 mm (données sous-estimées, anomalies de mesures sur le pluviomètre)
- Fauquembergues : 36,8 mm
- Saint-Omer : 24,3 mm
- Herbelles : 30,7mm

Cette pluie longue de type hivernale avait des intensités faibles à assez faibles, assez homogène sur le bassin versant de l'Aa (avec une majorité quand même à l'ouest du fleuve). Cette crue a engendré des débits modérés sur l'Aa et le Bléquin (voir hydrogrammes en pages suivantes).

L'indice d'humidité des sols au 1^{er} novembre 2023 était de 50 à 70% sur le secteur du bassin versant de l'Aa, 70% à l'ouest de Lumbres, indiquant un sol humide mais non saturé sur la très grande majorité du bassin versant :

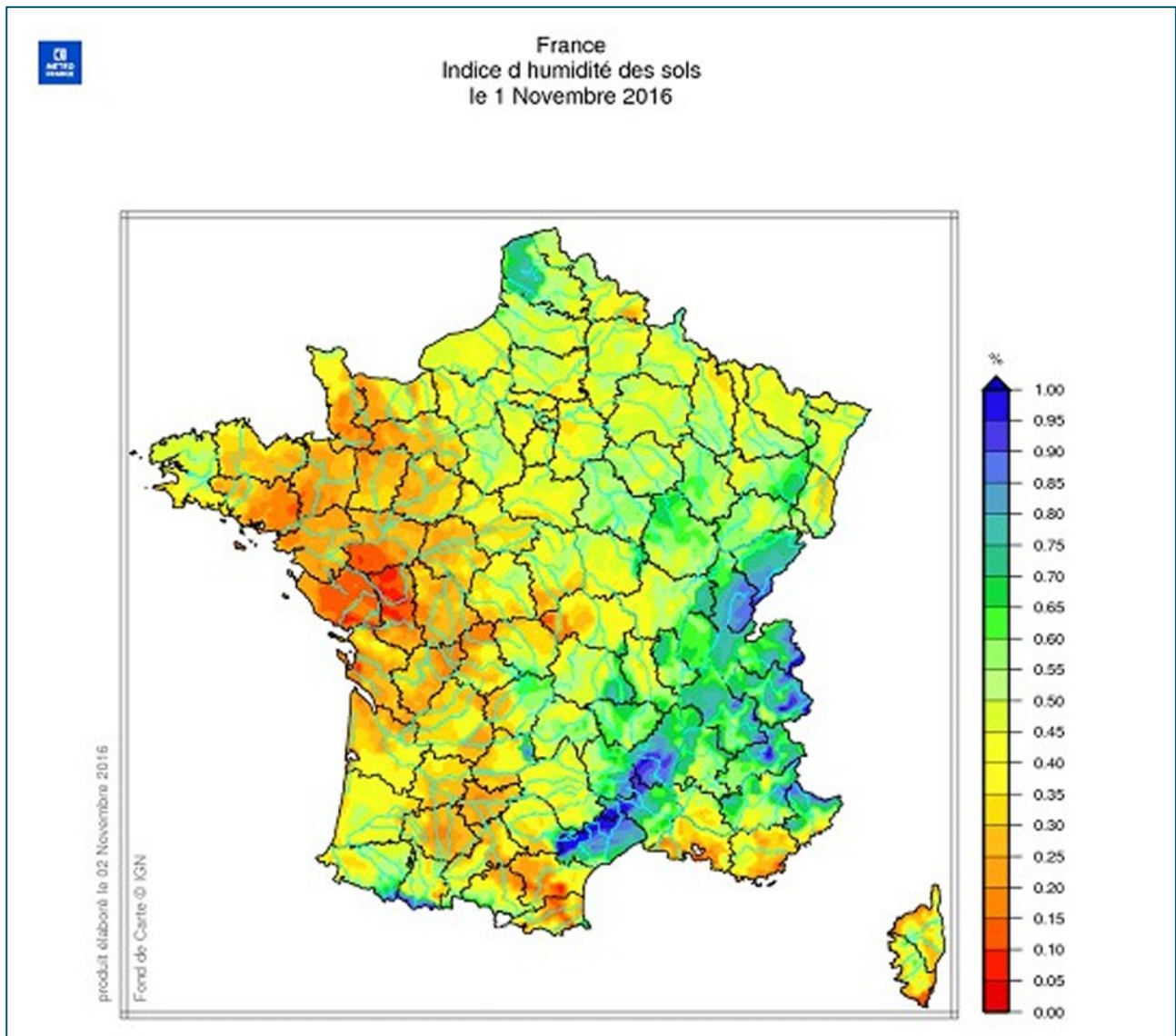


Figure 9-19 Indice d'humidité des sols en France au 1^{er} novembre 2016 (source : Météo France)

Les mesures réalisées aux stations vigicrues de l'Aa à Fauquembergues, du Bléquin à Lumbres et de l'Aa Wizernes confirment une forte réaction des cours d'eau avec un ruissellement important notamment sur le Bléquin :

13,8 m³/s à Fauquembergues :

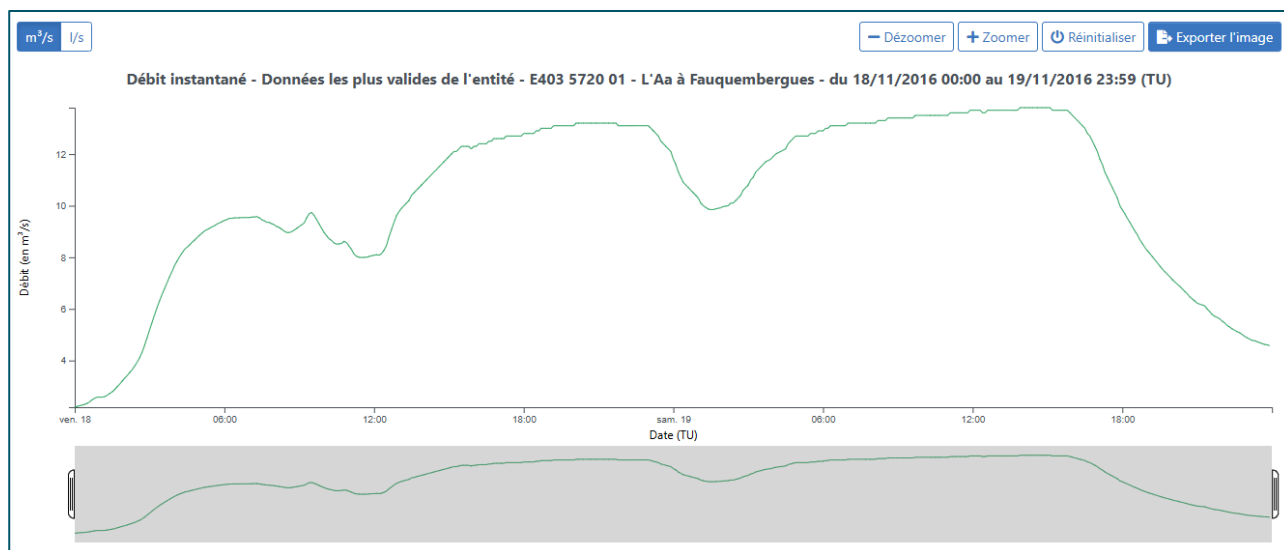


Figure 9-20 Hydrogramme de débit de l'Aa à Fauquembergues le 19 novembre 2016 (source : Météo France)

10,3 m³/s pour le Bléquin à Lumbres :

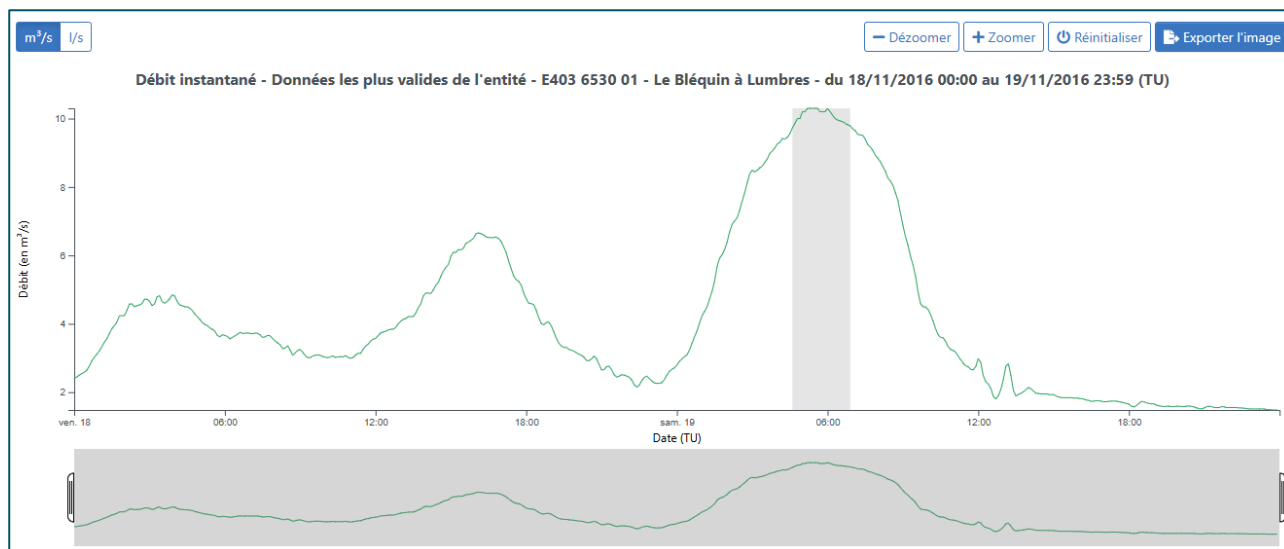


Figure 9-21 Hydrogramme de débit du Bléquin à Lumbres le 19 novembre 2016 (source : Météo France)

37,5 m³/s à Wizernes (record du 1^{er} mars 2002 alors battu) :

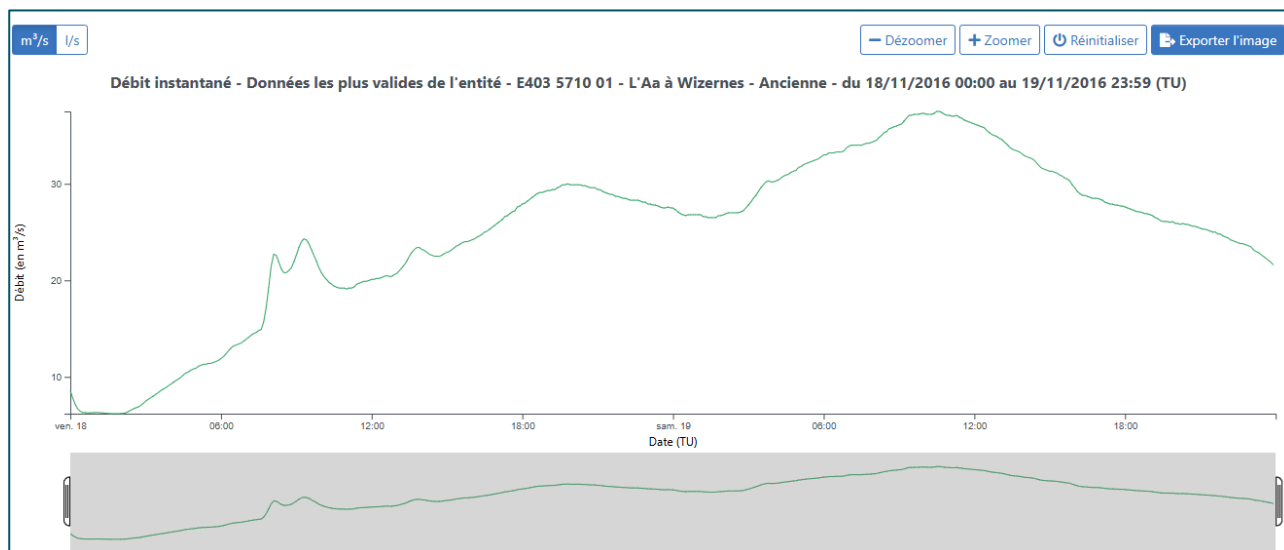


Figure 9-22 Hydrogramme de débit de l'Aa à Wizernes le 19 novembre 2016 (source : Météo France)

CONCLUSION POUR LA COMPARAISON DE CES DEUX EPISODES HIVERNAUX :

Nous avons comparé deux épisodes de pluies hivernales de faibles à assez faible (voir moyenne) intensité, à une période de l'année similaire en termes de saison et d'occupation des sols culturale : la crue du 19 novembre 2016 avec celle du 06 novembre 2023.

Les deux ont générés des pluies peu intenses avec de gros cumuls de pluies au total, d'ampleur comparable entre les deux (avec un peu plus de pluie en 2016 sur 48 heures glissantes). La répartition spatiale des pluies sur le bassin versant de l'Aa était par contre différente entre les deux, rendant difficile l'exercice de comparaison en dehors du bassin du Bléquin.

En toute logique, la réaction du Bléquin aurait dû être avec un ordre de grandeur proche entre 2016 et 2023, hors le débit du Bléquin à Lumbres a été de 10,3 m³/s maximum en 2016 alors qu'il a été de 37,7 m³/s maximum en 2023, quasiment 4x plus. L'intensité un peu plus forte des pluies en 2023 ne peut expliquer à elle-seule un tel écart.

Le seul paramètre pouvant expliquer un écart de comportement au ruissellement aussi extrême est l'état de saturation du sol, qui était de 70% en 2016 contre 100% en 2023 à l'ouest de Lumbres (d'autres paramètres entrent aussi en jeu : occupation des sols localement différente, température, intensité de la pluie,... mais ne peuvent expliquer à eux seuls un tel écart).

9.3 Conclusion

L'état de saturation des sols joue un rôle prépondérant dans la genèse du risque des crues sur le bassin versant de l'Aa, notamment au regard de la nature dominante de son sol : limon argileux ou limon argilo-sableux.

Ces types de sols ont tendance à diminuer rapidement leur capacité d'infiltration avec l'augmentation de leur saturation en eau.

Pour illustrer concrètement cette analyse, nous avons comparé 4 épisodes récents de crues de l'Aa : deux en situation estivale et deux en situation hivernale.

La comparaison est faite sur un nombre d'échantillon restreint mais qui se veut le plus représentatif et comparable possible : les cumuls et les intensités de pluies sont comparables, la période de l'année est la même avec une occupation culturale des sols similaire, des données de mesures de débits de l'Aa et du Bléquin sont disponibles et fiables au niveau des stations vigicrues pour les comparaisons. **La seule variable qui diffère fortement entre les deux couples de crues comparés est le niveau de saturation préalable des sols, un premier cas avec des sols secs ou non saturés et un second cas avec des sols saturés.**

L'impact sur les débits mesurés au niveau des cours d'eau est sans appel : le débit est nettement plus fort lorsque les sols sont humides à saturés. La crue d'août 2024 en est le parfait exemple, avec une crue forte (plus forte que celle de décembre 1999), alors que le contexte était estival. Avec un sol sec, un contexte pluviométrique similaire en août 2020 n'a quasiment pas généré de ruissellement vers l'Aa et le Bléquin.

De même, en crue hivernale, la différence d'impact entre un sol saturé et un sol « juste » humide à très humide (70% d'humidité) et également très forte, avec des débits pouvant être multipliés par 4 pour le Bléquin, par exemple.

Un calcul de capacité d'infiltration théorique à partir de la formule d'Horton montre la diminution rapide de l'infiltration avec l'augmentation de l'humidité d'un sol limono-argileux type, et est cohérent avec l'analyse faite précédemment sur les crues de l'Aa :

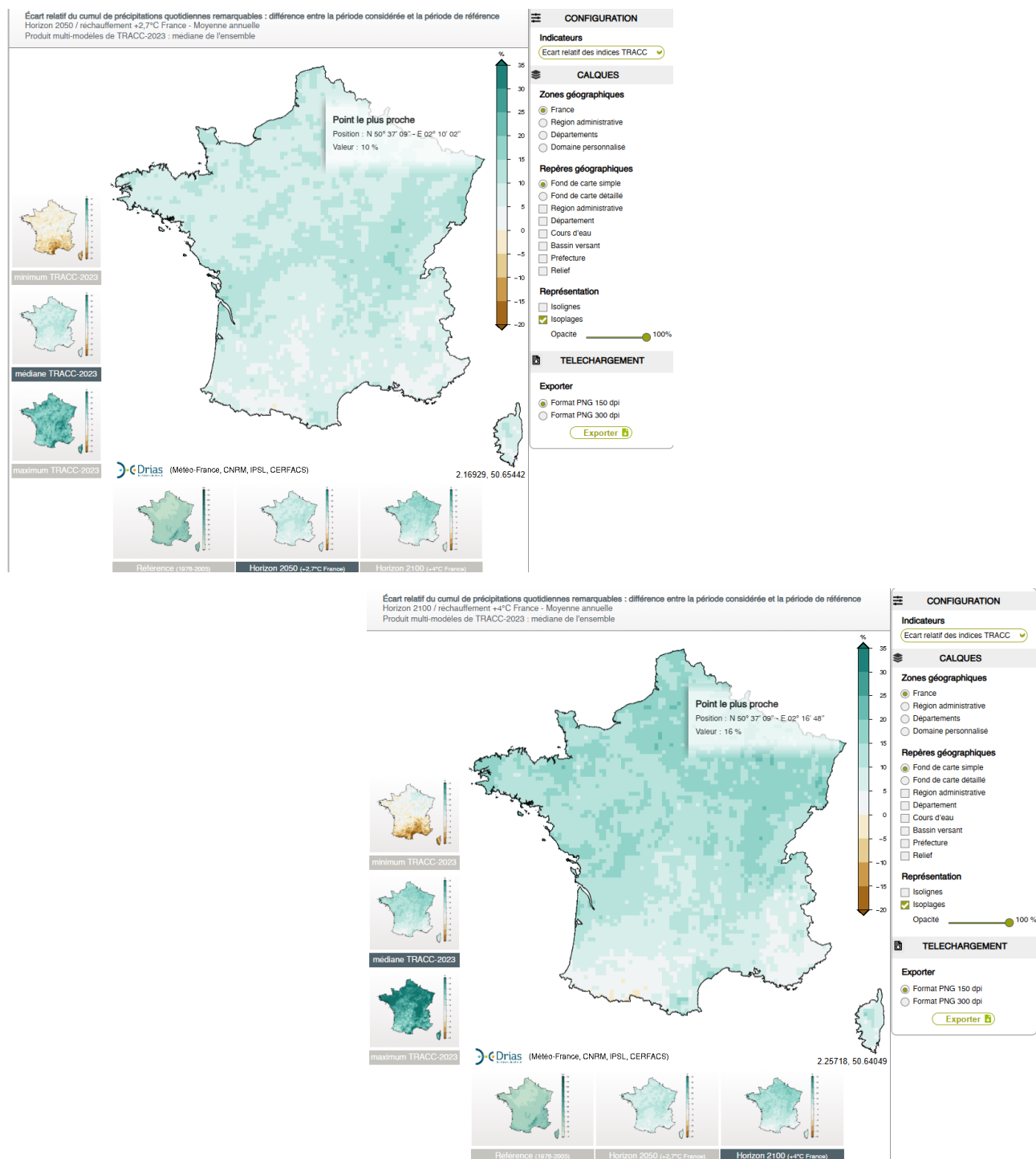
État Initial du sol	Humidité	f0 (mm/h)	État de la couche de sol
Sec (0% d'humidité)	0%	25	Vide, prête à absorber
Peu humide (30% d'humidité)	30%	18	$1,5+(25-1,5)\times 0,7$
Humide (60% d'humidité)	60%	10,9	$1,5+(25-1,5)\times 0,4$
Saturé (100% d'humidité)	100%	1,5	Pleine, pas de stockage, seul un transfert lent vers les couches profondes.

Cette sensibilité très élevée des crues à la saturation préalable des sols est d'autant plus un paramètre important que l'évolution du régime des pluies lié au changement climatique augmente leur intensité, même en période hivernale. Le risque de crue ne peut donc qu'augmenter en conséquence (voir page suivante).

Perspectives d'aggravation des pluies intenses liées au changement climatique :

+11% de cumul pour les pluies quotidiennes remarquables sur le bassin versant de l'Aa à l'horizon 2050 selon la trajectoire de réchauffement actuelle, et +16% à l'horizon 2100, pour le scénario moyen.

Il y aura donc une augmentation franche à l'intensité des pluies hivernale dans les décennies à venir.



10. COMMENT FONCTIONNE LE SYSTEME D'ENDIGUEMENT DE PROTECTION DE BLENDÉCQUES ?

10.1 Contexte

Le système d'endiguement a été conçu pour gérer une crue similaire à celle du 1^{er} mars 2002 (57,6 m³/s en pointe à Wizernes). Au-delà, des dispositifs de sécurités permettent son débordement de manière contrôlée et locale (les déversoirs).

Il a pour objectif de protéger des inondations la partie urbaine de Blendécques située en rive droite de l'Aa, entre la Rue Paul Obry et la Rue du Balain.

Le plan ci-dessous représente le système d'endiguement de manière schématique :

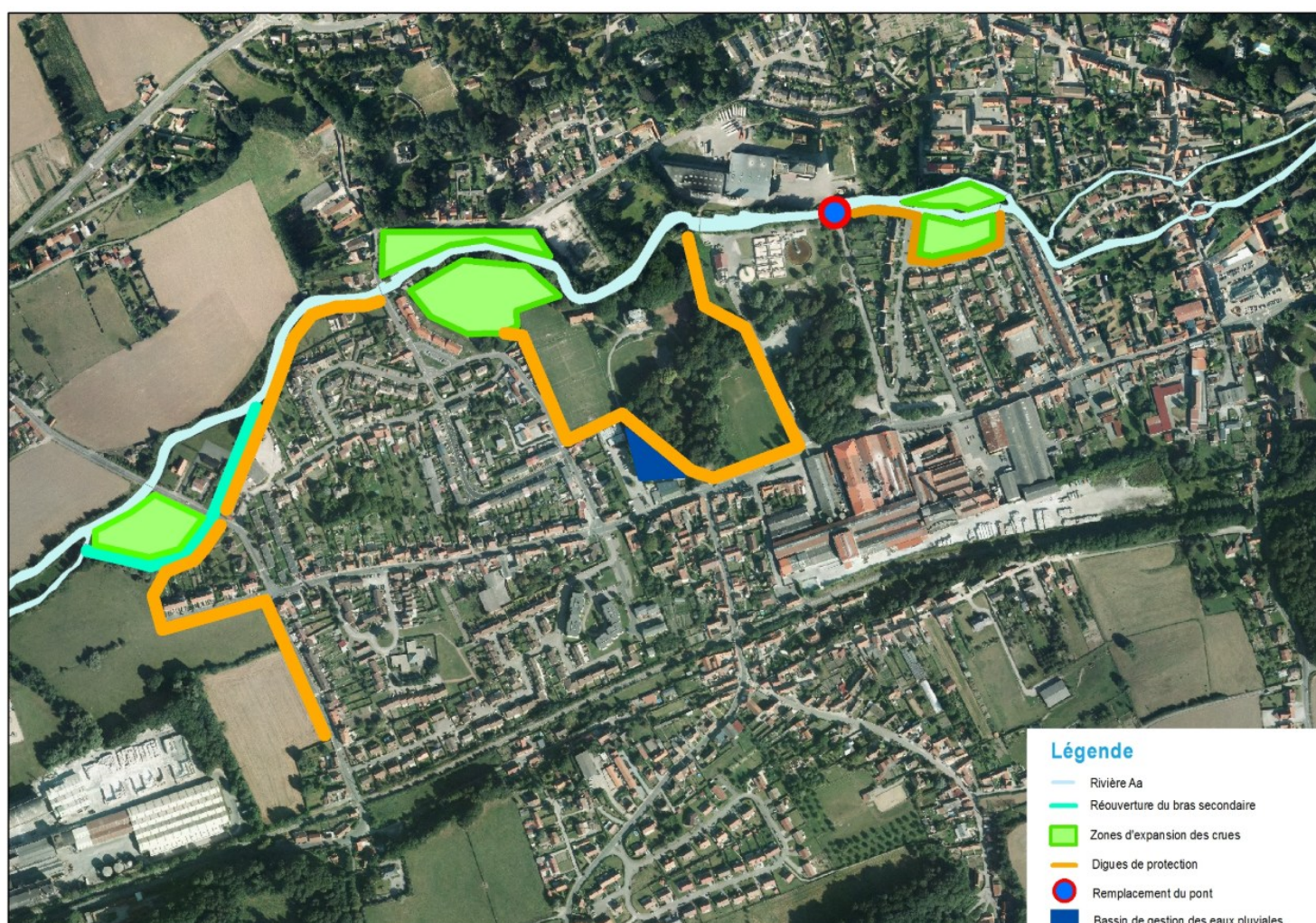


Figure 10-1 Schéma du système d'endiguement de Blendécques (source : SmageAa)

Des zones d'expansion de crue compensatoires ont été créées en amont et au droit des endiguements pour compenser « mathématiquement » le volume d'expansion perdu pour la crue, c'est-à-dire le volume que le fleuve ne peut plus aller inonder derrière les digues.

Un bassin d'expansion de crue a été créé à l'intérieur du système d'endiguement, dans le Parc de Westhove, pour gérer les eaux provenant du réseau d'assainissement pluvial de la ville. En effet, pendant la crue, le réseau pluvial ne peut plus s'évacuer gravitairement (le niveau de la rivière est plus haut que le niveau dans les tuyaux d'assainissement). Ce bassin de 2000 m³ permet de stocker, temporairement, le volume collecté par cet assainissement pluvial. Lorsque le volume de remplissage limite est en passe d'être atteint, un pompage de sécurité est réalisé pour pomper les eaux du bassin par-dessus le niveau de la digue.

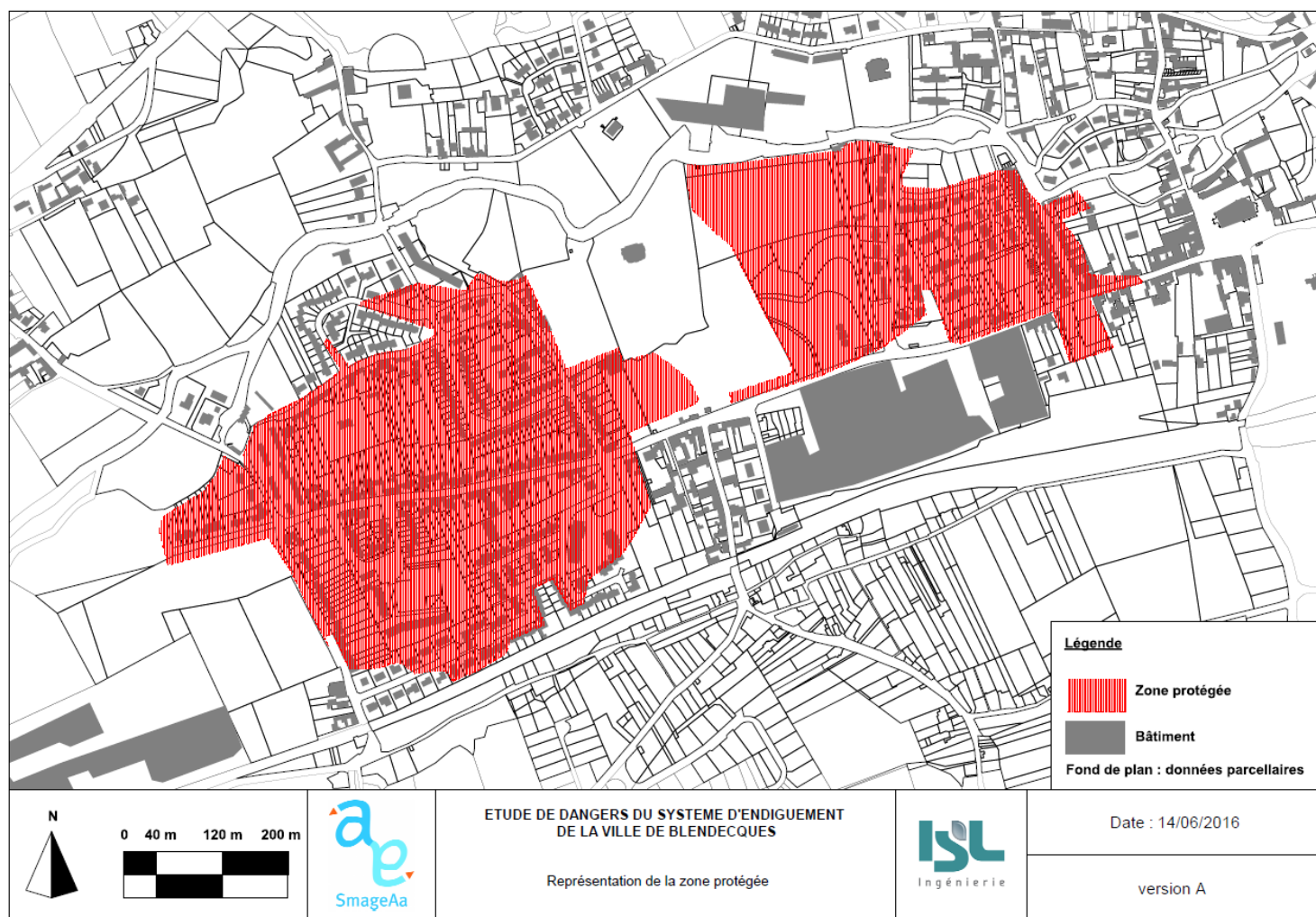


Figure 10-2 Schéma du système d'endiguement de Blendecques (source : ISL)

10.2 Analyse

CRUE DU 6 NOVEMBRE 2023 :

Le système d'endiguement a été éprouvé durement une première fois lors de la crue du 6 novembre 2023 (débit de pointe de 67 m³/s à Wizernes, soient 9,4 m³/s en plus par rapport à sa limite de dimensionnement avant surverse). **Le système d'endiguement a fonctionné SANS SURVERSER pendant cette crue, satisfaisant donc largement à son objectif de dimensionnement initial (116 % d'efficacité).**

Orthophoto prise par la DREAL au maximum de l'inondation du 6 novembre 2023 :



Figure 10-3 Etendues maximales inondées à Blendecques le 6/11/2023 (source : DREAL)

Le système d'endiguement joue son rôle de protection pour toute la rive droite, l'eau délimite clairement les contours de digue sur la photo aérienne. Tous les ouvrages d'expansion de crues sont remplis sans débordement. L'aval du système au niveau de la rue du Balain subit des inondations, selon toute vraisemblance en raison de problèmes de freins aux écoulements de crues dans les lits mineurs bordant l'Ilot Salengro (obstacles de végétation, embâcles,...).

CRUE DES 11 NOVEMBRE 2023 ET 3 JANVIER 2024 :

Lors des deux crues suivantes des 11 novembre 2023 (87 m³/s en pointe à Wizernes) et du 3 janvier 2024 (90 m³/s), le système d'endiguement a été débordé, ses déversoirs sont entrés en fonctionnement. A noter qu'il n'y a pas eu surverse incontrôlée au-dessus des digues, tout le « surplus » de débit a transité dans les déversoirs aménagés à cet effet.

Lorsqu'on compare les étendues inondées lors de ces crues avec les étendues qui étaient prévisibles en inondations pour une crue centennale simulées lors de la conception du système d'endiguement, on constate une grande cohérence. Le système d'endiguement ne s'est donc pas comporté de manière imprévue lors de ces crues majeures.

Le bassin de 2000 m³ dans le Parc de Westhove a été débordé de capacité pendant ces deux crues, ce qui est logique puisque les crues ont duré plus longtemps que celle de 2002 et qu'il a beaucoup plu pendant les crues à Blendecques même, chargeant donc en eaux de ruissellement urbaines les collecteurs d'assainissement pluviaux de Blendecques qui se jettent dans ce même bassin. Sans ce bassin, il y aurait eu plus de 2000 m³ d'eau supplémentaires en surface dans les rues de Blendecques.

Orthophoto prise par la DREAL au maximum de l'inondation du 11 novembre 2023 :



Figure 10-4 Etendues maximales inondées à Blendecques le 11/11/2023 (source : DREAL)

Le système d'endiguement est débordé au niveau de toutes ses surverses aménagées.

La cartographie ci-dessous, extraite de l'étude de dangers du système d'endiguement, montre les zones inondées à l'intérieur de la zone protégée pour une crue centennale (estimée à l'époque) de l'Aa (90 m³/s à Wizernes). Les étendues inondées correspondent de manière tout à fait similaires à ce qui a été observé lors des crues exceptionnelles du 11/11/23 et 03/01/24 :

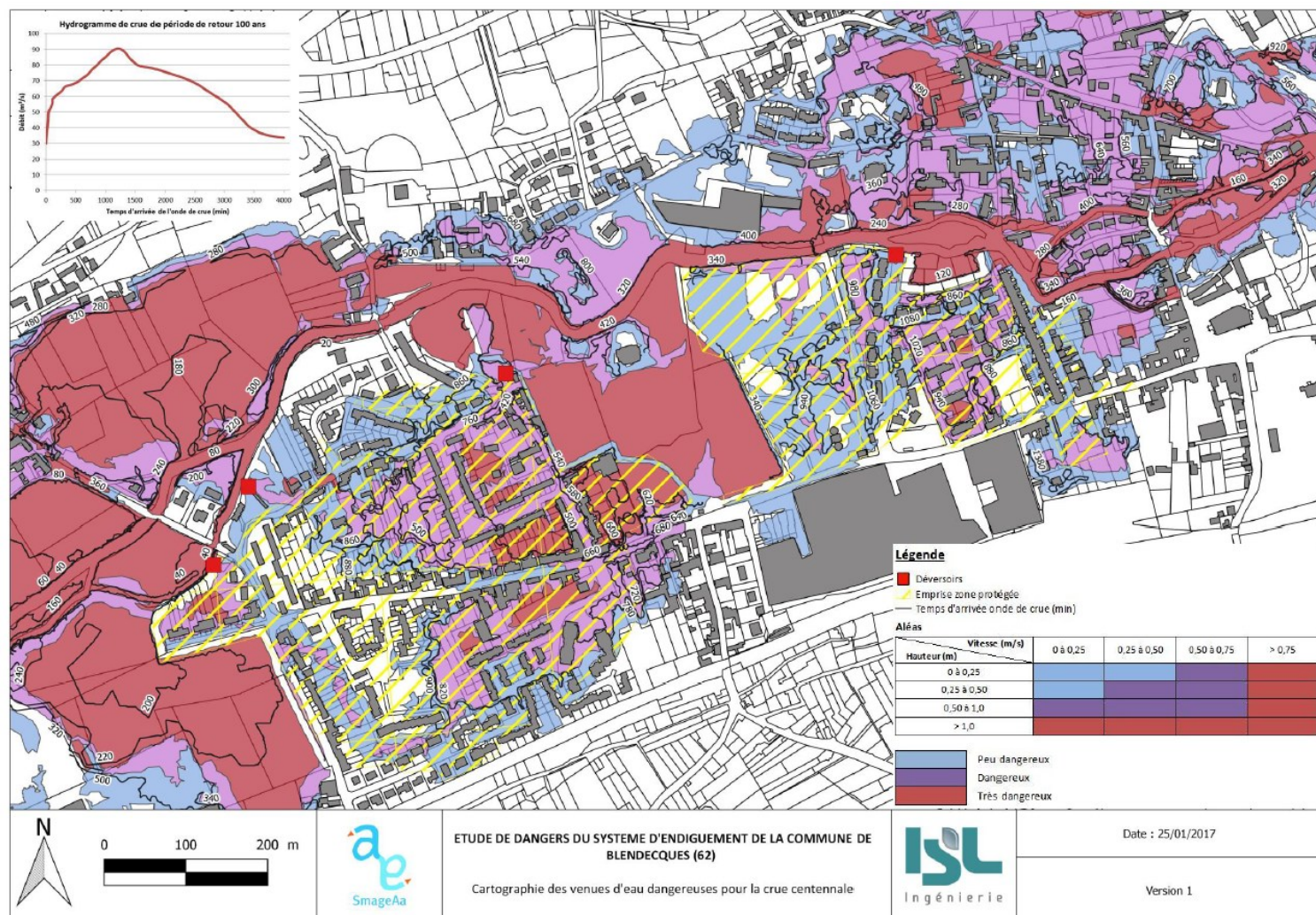


Figure 10-5 Etendues maximales inondées à Blendecques pour une crue centennale (source : ISL)

10.3 Conclusion

Le système d'endiguement de Blendecques a fonctionné :

- mieux que prévu pour la première crue du 6 novembre 2023 (il n'a pas été débordé alors que cette crue était plus forte de près de 10 m³/s par rapport à la crue de dimensionnement) ;
- comme prévu lors des crues majeures du 11 novembre 2023 et du 3 janvier 2024 en débordant de manière contrôlée par ses déversoirs.

11. QUELLES SONT LES CONDITIONS D'EVACUATION A LA MER ?

11.1 Contexte

(Source : Institution Interdépartementale des Wateringues)

Situé en Flandre maritime, sur environ 100 000 hectares, le territoire des Wateringues correspond à l'ancien delta de l'Aa, inscrit **dans le triangle Saint-Omer – Calais – Dunkerque**.

L'Aa est un fleuve côtier qui prend sa source à Bourthes dans les collines de l'Artois. Il se répand ensuite dans le marais audomarois, se faufile par le goulet de Watten, s'écoule dans la plaine maritime (Delta de l'Aa) et se jette enfin dans la mer du Nord à Gravelines.

La Hem est son principal affluent. Elle rejoint directement les Wateringues à Henuin. D'autres petits cours d'eau, recueillant les eaux ruisselant sur les pentes des collines de l'Artois et de Flandre intérieure, viennent également épandre leurs eaux sur le delta.

Les exutoires à la mer des Wateringues se situent **dans les ports de Calais, Gravelines et Dunkerque**.

À l'est de Dunkerque, la gestion des eaux est transfrontalière et se traduit **par des échanges d'eaux avec nos voisins flamands**, via les canaux de Furnes, des Moères et de la Basse Colme.

À noter aussi que, parfois, **pour soulager les crues de la Lys**, des transferts d'eaux sont réalisés vers le secteur des Wateringues via le canal de Neufossé et l'écluse des Fontinettes.

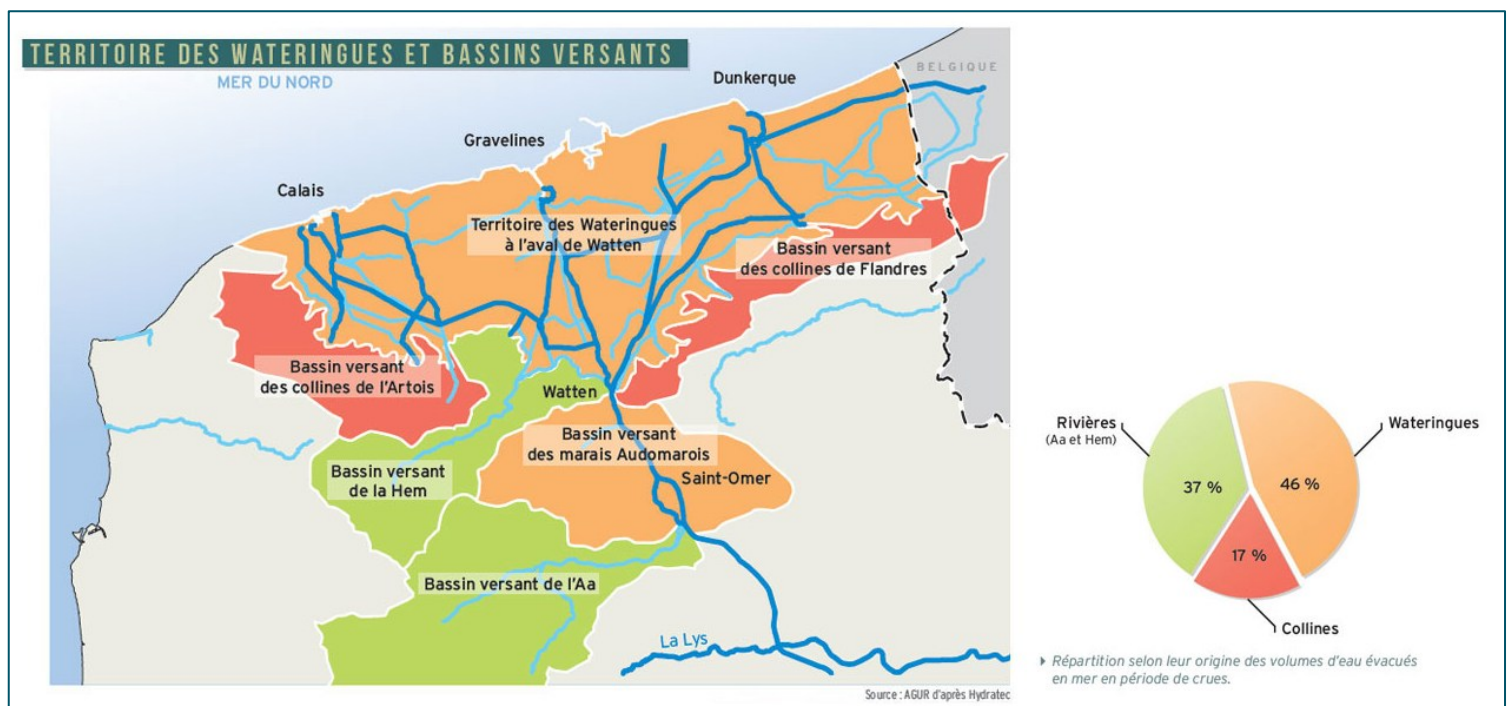


Figure 11-1 Territoire des Wateringues et bassins versants (source : IIW)

Le système des Wateringues comprend **des fossés** (appelés watergangs, grachts, vliets) **et canaux** qui se croisent et communiquent entre eux par de **multiples ouvrages**, pompes, vannes, écluses, siphons, etc. afin de **réguler le niveau des eaux de surface** et, en cas de besoin, **évacuer les excédents à la mer** en s'affranchissant des marées hautes grâce à des stations de relevage.

Le système hydraulique des Wateringues est constitué :

- d'un cours d'eau naturel, l'Aa, canalisé à partir de Saint-Omer jusqu'à son exutoire à Gravelines,
- de grands canaux de navigation : canal à grand gabarit, de Bergues, de Calais...
- du réseau des watergangs (primaire, secondaire et tertiaire pour un linéaire total d'environ 1 500 kilomètres) et de canaux non navigables, servant au drainage et à l'irrigation des terres basses,
- d'une centaine de stations de relevage dans les canaux et de nombreux ouvrages hydrauliques, vannes, siphons...
- d'ouvrages d'évacuation à la mer, de pompes, de vannes, de clapets...

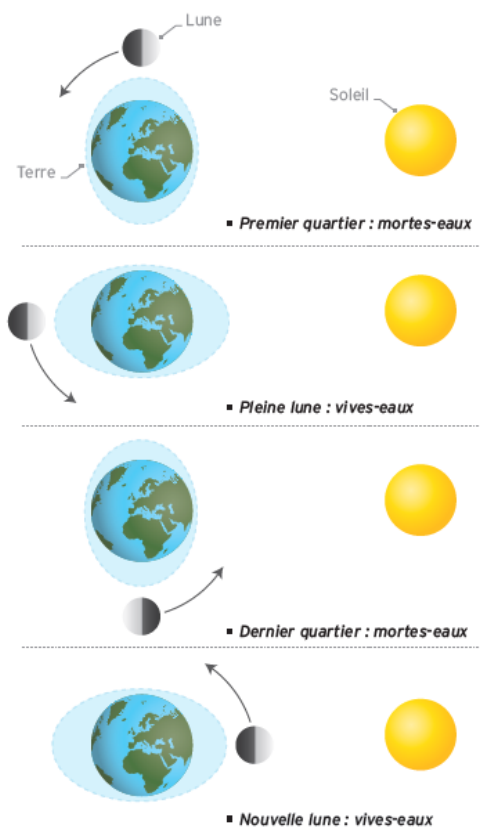
L'efficacité de l'évacuation gravitaire des eaux douces à la mer dépend principalement **de l'amplitude des marées**.

Cette amplitude est déterminée par un **coefficient de marée**, variable en fonction des cycles lunaires. L'évacuation gravitaire des eaux à marée basse est d'autant plus efficace que l'amplitude de la marée est importante.

Lors de marées dites « de vives eaux », l'amplitude de la marée est forte. L'écoulement gravitaire est facilité par le niveau bas de la mer, la durée d'ouverture des portes est longue et le niveau des canaux peut être abaissé de manière significative en vue de la marée haute suivante.

A l'inverse, lors des marées « de mortes eaux », l'amplitude est faible. Les portes à la mer sont ouvertes durant un laps de temps très court. De faibles quantités d'eau sont évacuées gravitairement.

Parfois, **des phénomènes de surcote marine** peuvent être observés selon les conditions météorologiques (tempête, dépression atmosphérique). La quantité d'eau évacuée gravitairement est alors diminuée car les portes à la mer sont ouvertes sur un pas de temps plus court. Il devient alors souvent nécessaire d'avoir recours au pompage pour éviter le débordement des canaux et compenser le déficit d'évacuation gravitaire.



Source: AGUR

Sur le long terme, l'impact du dérèglement climatique entraînera des conséquences négatives sur l'évacuation gravitaire des eaux des Wateringues. En effet, depuis les dernières décennies, il est constaté une augmentation régulière du niveau moyen des mers dont l'origine est attribuée au réchauffement climatique global. Cette augmentation est notamment liée à un effet de dilatation thermique de la mer.

Quelques chiffres clés :

- Un débit moyen rejeté à la mer de 14 m³/s.
- En moyenne, 14% des eaux rejetées à la mer sont pompées.
- En crue sévère, 50% des eaux rejetées à la mer, doivent être pompées, ce qui peut représenter jusqu'à 100 millions de m³.

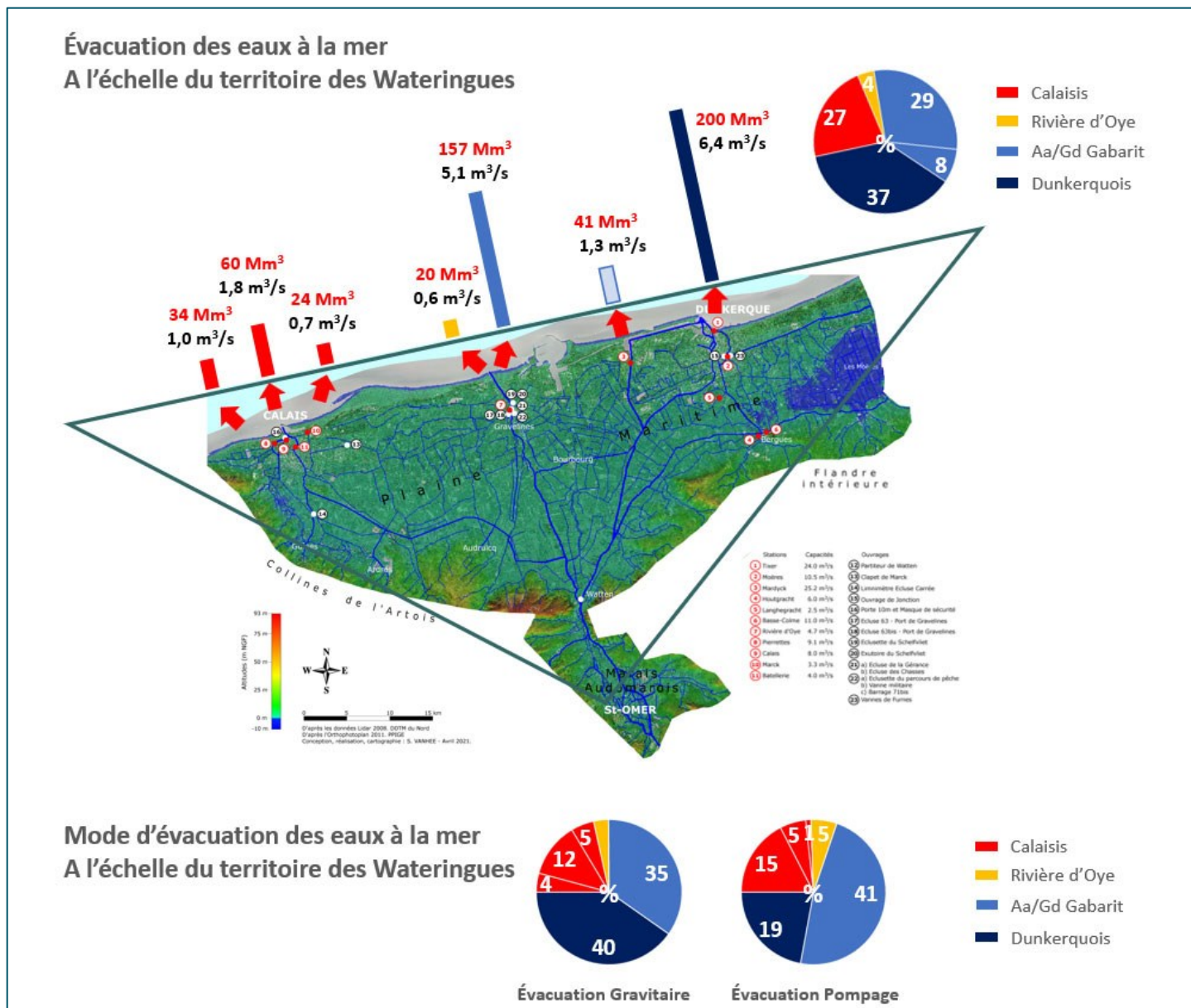
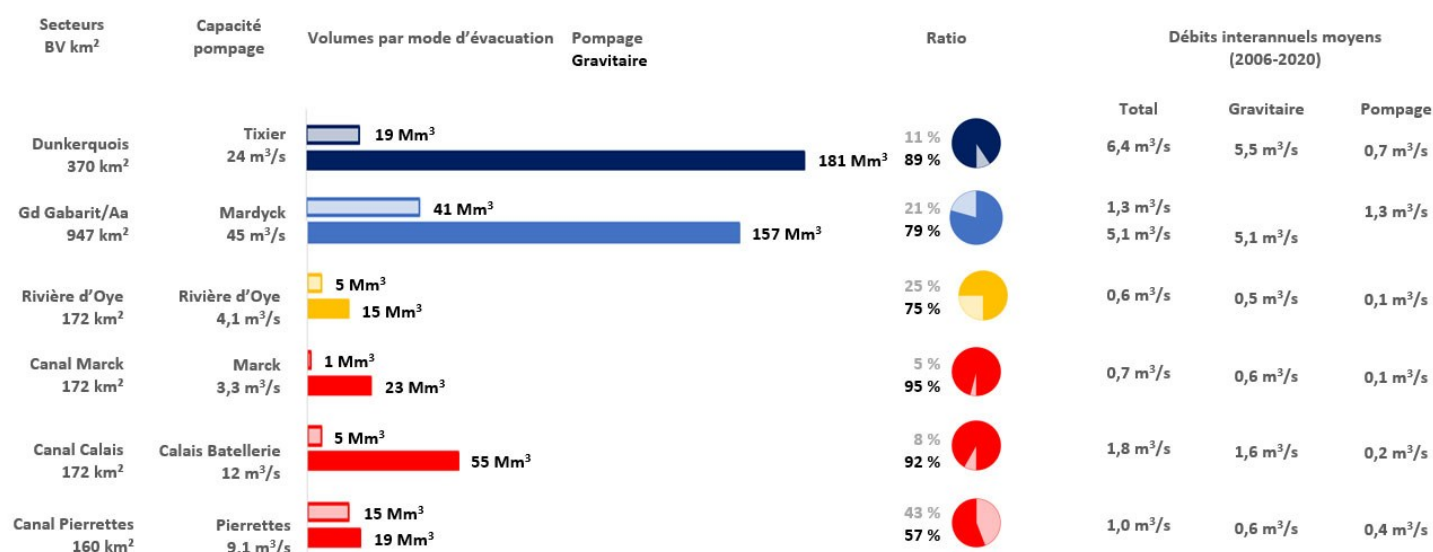
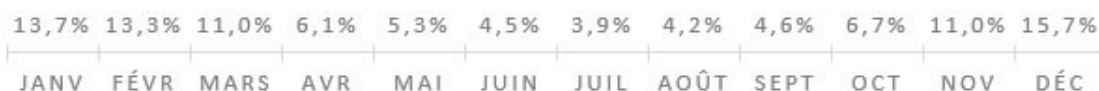


Figure 11-2 Evacuation des eaux à la mer à l'échelle du territoire des Wateringues (source : IIW)

Évacuation des eaux à la mer par secteur géographique Volumes par mode – Ratio Gravitaire Pompage - Débits



Évacuation des eaux à la mer Répartition des débits dans l'année



Répartition des débits gravitaire et pompage dans l'année Une variabilité saisonnière

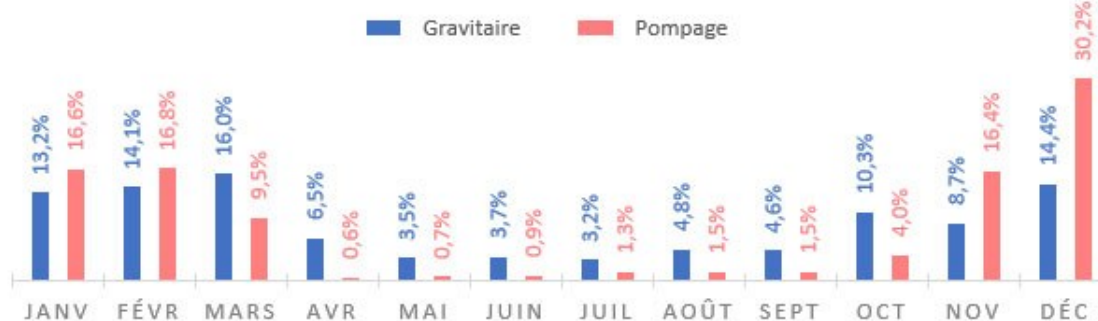


Figure 11-3 Evacuation des eaux à la mer par secteur géographique et par mode gravitaire ou de pompage (source : IIW)

11.2 Analyse

(Source : Institution Interdépartementale des Wateringues)

A l'issue des inondations de l'hiver 2023-2024, le pôle Systèmes d'informations de l'IIW a produit le rapport d'analyse des crues du Delta de l'Aa. Le travail a consisté à analyser toutes les données hydrologiques issues des réseaux de mesures, des stations de pompage, des données de terrain, et les mettre en lien avec les événements météorologiques, en vue d'affiner la connaissance et améliorer le fonctionnement des nombreux réseaux hydrographiques du système particulier des wateringues.

Afin de faciliter la compréhension, la synthèse de ce rapport est disponible sur le site internet de l'Institution Interdépartementale des Wateringues :

https://www.institution-wateringues.fr/wp-content/uploads/2024/07/SYNTHESE_CRUES-1.pdf

Ce rapport explique et détaille le contexte et les modalités de gestion de crise par l'IIW pendant les crues de l'hiver 2023-2024.

11.3 Conclusion

En reprenant la synthèse du rapport de l'IIW précité :

Le système IIW d'évacuation des crues a fonctionné à :

- 100 % de ses capacités d'évacuation gravitaire ;
- 93% de ses capacités maximales de pompage en Novembre 2023.
- 100% de ses capacités maximales de pompage soit près de 110 m³/s entre décembre 2023 et fin février 2024

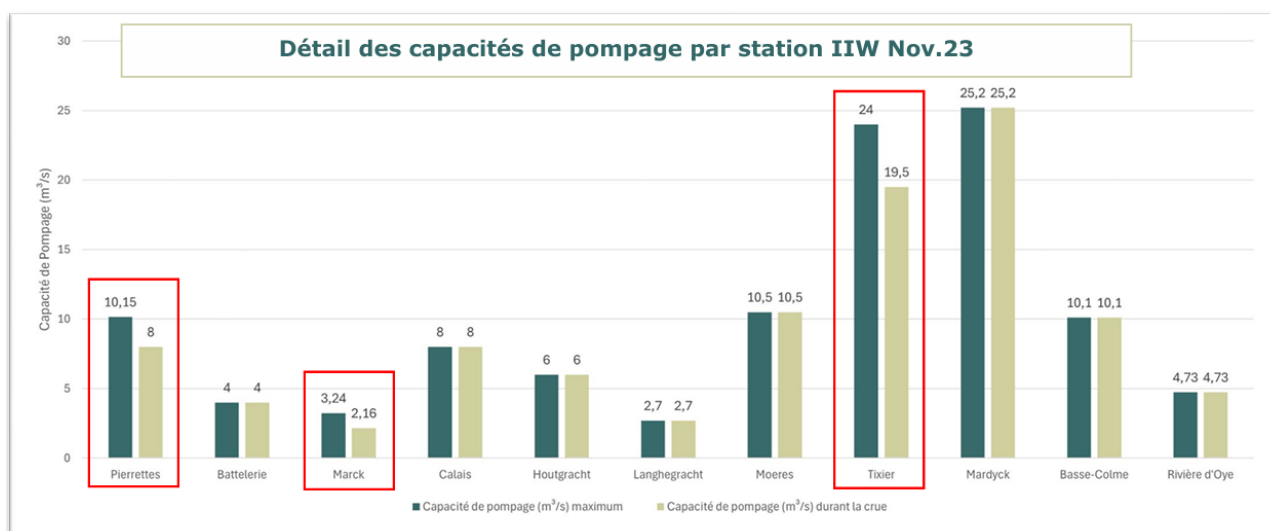


Figure 11-4 Détail des capacités de pompage par station IIW en novembre 2023 (source : IIW)

Novembre 2023

Volumes pompés – Cumuls pluviométriques et Niveaux maximums – Du 01 Nov. 2023 au 01 Déc. 2023

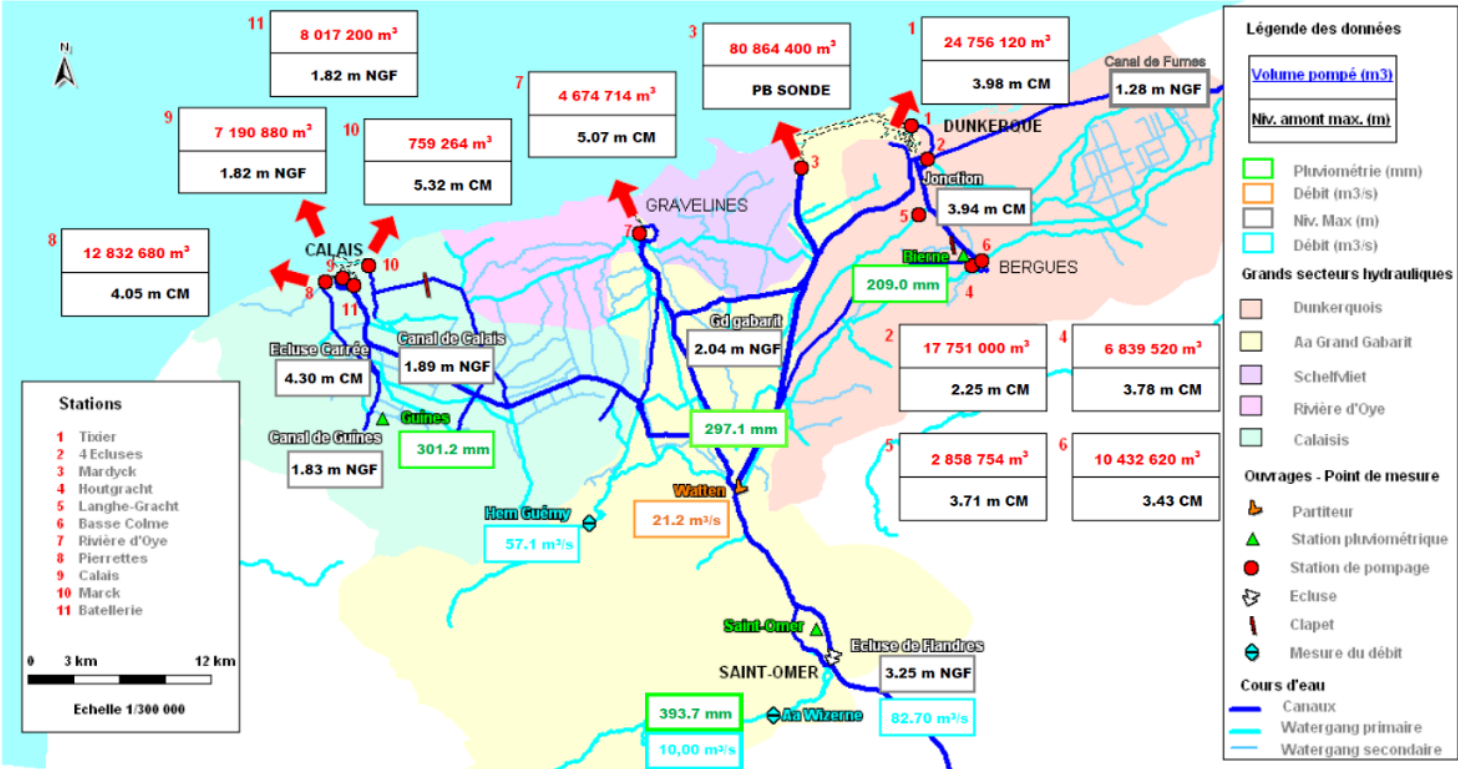
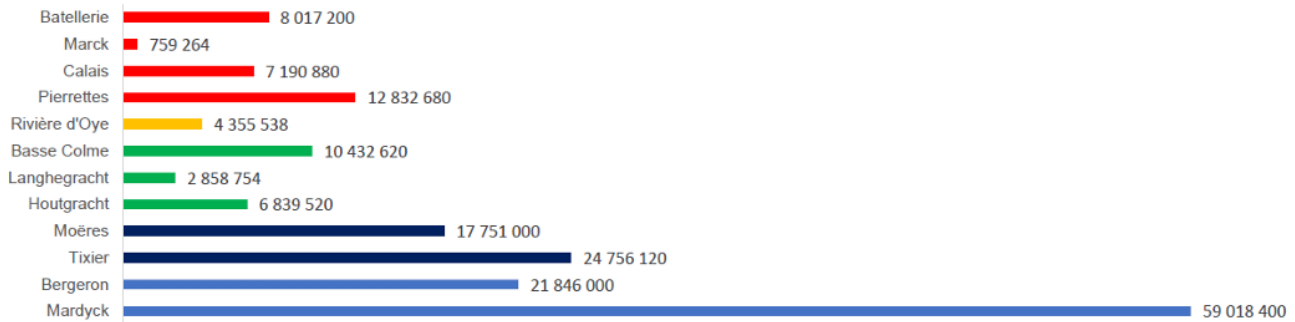


Figure 11-5 Volumes pompés – cumuls pluviométriques et niveaux marins maximums du 01/11 au 31/12/2023 (source : IIW)

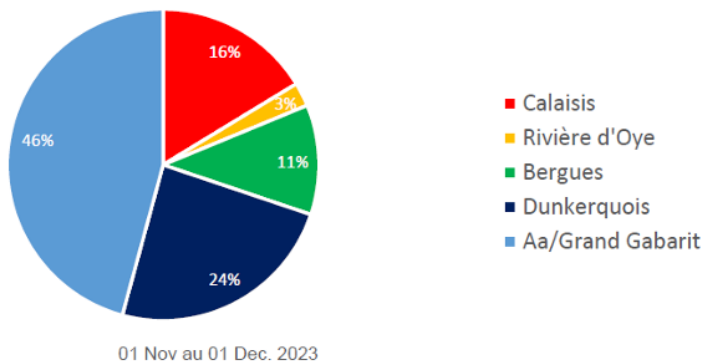
**VOLUMES POMPES ET REPARTITION DES POMPAGES SUR LES STATIONS DE
L'INSTITUTION INTERCOMMUNALE DES WATERINGUES
MOIS DE NOVEMBRE 2023**

176 657 976 m³

Volumes pompés (m³) sur les différentes stations - 01 Nov. au 01 Dec. 2023



Répartition des pompages par crue et secteur géographique



Conception - Réalisation : IIW. S. VANHEE. Déc. 2023.
Source : Système de centralisation de données IIW.

Figure 11-6 Volumes pompés et répartition des pompages sur les stations de l'IIW en novembre 2023
(source : IIW)

(Source : Institution Interdépartementale des Wateringues)

Bilan des crues et perspectives :

« 2023 restera une année marquante pour le territoire, au regard du caractère exceptionnel des crues et des inondations, de leurs conséquences pour les populations durement touchées.

Le territoire a été au centre de l'actualité nationale durant plusieurs semaines, et a reçu la visite du président de la République, du 1er ministre et de plusieurs ministres.

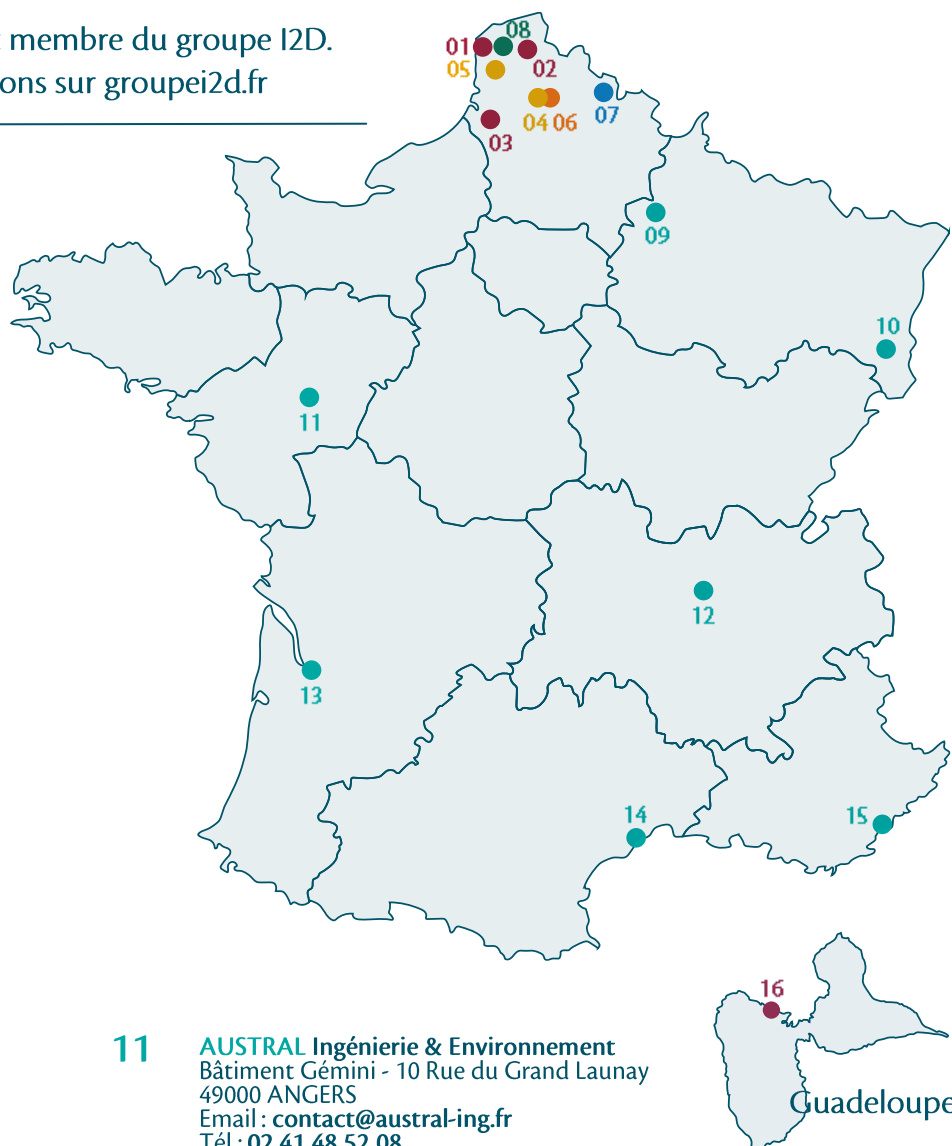
Des moyens colossaux ont été déployés pour faire face à cette situation inédite, à l'échelle locale par les collectivités, par l'Etat, et même l'Europe avec la mobilisation de moyens de pompage mobiles.

Cet événement, au regard de son intensité, de sa durée, et de son impact sur le territoire, conduit à s'interroger sur la robustesse des systèmes de protection existants. Un pas de géant avait été fait dans les années 1980, avec l'installation d'une capacité de pompage à la mer de 100 m³/s, ce qui a permis de doubler les capacités d'évacuation à la mer, mais force est de constater que le dispositif n'est plus à la hauteur des enjeux qui ont évolué depuis 50 ans, et ceci dans un contexte de changement climatique, qui va accroître les risques dans les années à venir.

Des évolutions sont attendues, dans les prochains mois, en matière de gouvernance, pour clarifier les responsabilités des différents acteurs, mieux coordonner leurs actions, notamment en période de crise. A cet effet, une étude sera engagée par l'Institution, en 2024, pour examiner les conditions de transfert des compétences littorales (protection contre la submersion marine, gestion du trait de côte, ...), et les améliorations à apporter en matière de GEMAPI continentale. La mise en place d'un plan de résilience va s'accélérer, avec dans un premier temps, un travail dans le cadre du plan d'Etudes Préalables, qui permettra de bâtir un nouveau PAPI plus ambitieux, pour conforter le dispositif de protection contre les inondations, le renforcer, et le sécuriser pour faire face aux phénomènes extrêmes.

Enfin, la crise de la fin de l'année, a aussi mis en évidence la nécessité d'intensifier les actions de sensibilisation des élus, des citoyens, des usagers aux risques, et de manière générale à la gestion de l'eau ; la méconnaissance des caractéristiques du territoire, de son fonctionnement hydraulique, des actions menées ou à prévoir, a été à l'origine de tensions et d'inquiétudes ; un effort particulier et le déploiement de nouveaux moyens, sont à prévoir au plus vite, pour que toutes les parties concernées (citoyens, collectivités, gestionnaires, agriculteurs, industriels, associations, ...), prennent conscience, de la nécessité de s'adapter aux changements à venir et voient, comment, ils peuvent y participer ».

V2R Ingénierie & Environnement est membre du groupe I2D.
Retrouver nos différentes implantations sur groupei2d.fr



01 **V2R Ingénierie & Environnement**
48 bis Route de Desvres
62280 SAINT-MARTIN-BOULOGNE
Email : contact@v2r.fr
Tél : 03 21 10 42 42

02 **V2R Ingénierie & Environnement**
Site Eurocap - 1 Route des Bruyères
62219 LONGUENESSE
Email : contact@v2r.fr
Tél : 03 21 10 42 42

03 **V2R Ingénierie & Environnement**
Garopole - Place de la Gare
80100 ABBEVILLE
Email : contact@v2r.fr
Tél : 03 21 10 42 42

04 **ERC Ingénierie & Environnement**
23-25 Rue du Dépôt
62000 ARRAS
Email : erc62@wanadoo.fr
Tél : 03 21 71 06 88

05 **ERC Ingénierie & Environnement**
131 Grand Place Foch
62830 SAMER
Email : erc62@wanadoo.fr
Tél : 03 21 32 09 84

06 **CER Ingénierie & Environnement**
23-25 Rue du Dépôt
62000 ARRAS
Email : cer@v2r.fr
Tél : 03 74 17 00 00

07 **SB2O Ingénierie & Environnement**
Centre d'Affaires MATISSE
Entrée B bureaux 223-225
10 Avenue Henri Matisse
59300 AULNOY-LEZ-VALENCIENNES
Email : sbastin@sb2o.com
Tél : 03 27 26 07 16

08 **ALFA Ingénierie & Environnement**
4 bis Rue de Verdun
62360 CAPELLE-LES-BOULOGNE
Email : alfa@alfa-environnement.fr
Tél : 03 21 30 53 01
Fax : 03 21 30 53 02

09 **AUSTRAL Ingénierie & Environnement**
16 Rue Gabriel Voisin
51100 REIMS
Email : contact@austral-ing.fr
Tél : 03 26 89 50 18

10 **AUSTRAL Ingénierie & Environnement**
68100 MULHOUSE
Email : contact@austral-ing.fr
Tél : 06 49 21 24 58

11 **AUSTRAL Ingénierie & Environnement**
Bâtiment Gémini - 10 Rue du Grand Launay
49000 ANGERS
Email : contact@austral-ing.fr
Tél : 02 41 48 52 08

12 **AUSTRAL Ingénierie & Environnement**
23 Rue Crepet
69007 LYON
Email : contact@austral-ing.fr
Tél : 06 80 70 24 70

13 **AUSTRAL Ingénierie & Environnement**
32 Allée de Boutaut
33070 BORDEAUX
Email : contact@austral-ing.fr
Tél : 02 41 48 52 08

14 **AUSTRAL Ingénierie & Environnement**
96 Avenue de Saint Maur
34000 MONTPELLIER
Email : contact@austral-ing.fr
Tél : 06 70 76 57 13

15 **AUSTRAL Ingénierie & Environnement**
WTC - Entrée L - 1300 Route des Crêtes
06560 VALBONNE SOPHIA ANTIPOLIS
Email : contact@austral-ing.fr
Tél : 04 93 00 04 77

16 **AGOA Ingénierie & Environnement**
22 Lotissement Canne En Fleurs Bois Rada
97115 SAINTE-ROSE
Email : s.rubini@agoa-ing.fr
Tél : 06 90 51 06 04