

Évolutions récentes du système APIC-VigicruesFlash

Renaud TZANOS¹, Thibaut MONTMERLE¹, Anne BELLEUDY², Gaspard DESMOULINS¹

¹Météo-France - 42 av. G. Coriolis 31057 Toulouse – contacts : renaud.tzanos@meteo.fr, thibaut.montmerle@meteo.fr, gaspard.desmoulins@meteo.fr

²Vigicrues – Ministère de la transition écologique et solidaire, SCHAPI - 42, av. G. Coriolis, 31057 Toulouse – contact : anne.belleudy@developpement-durable.gouv.fr

Résumé : Les services APIC et VigicruesFlash permettent, avec une mise à jour toutes les 15 min, d’avertir respectivement de l’occurrence de cumuls exceptionnels de précipitations à l’échelle de la commune et d’un risque de crues soudaines sur des petits cours d’eau. Ces deux services, partagent les mêmes plateformes de visualisation pour le grand public (apic-vigicruesflash.fr) et d’abonnement pour les usagers institutionnels et gestionnaires de crise (apic-pro.meteofrance.fr).

Les évolutions majeures apportées à l’été 2021 à l’ensemble du système sont tout d’abord présentées : utilisation de la lame d’eau ANTILOPE dans les productions amont, couverture de l’ensemble des communes métropolitaines pour APIC, amélioration du modèle hydrologique distribué de Vigicrues Flash, reprise complète des interfaces, ouverture du service d’abonnement aux intercommunalités et aux opérateurs de service. Les évolutions récentes des productions amont sont tout d’abord discutées. Pour APIC, il s’agit de la généralisation progressive de l’utilisation de ANTILOPE sur les domaines en outre-mer, de la révision des profondeurs de cumuls utilisés pour son calcul, de l’ajout d’une classe “exceptionnelle” basée sur des comparaisons avec des durées de retour 100 ans. Pour VigicruesFlash, la couverture de service a été étendue à de nouveaux tronçons non instrumentés. Enfin, les nouvelles interfaces ainsi qu’un bilan des abonnements sont présentés.

Mots clefs : avertissements, pluies exceptionnelles, crues soudaines

1. Introduction

Les pluies intenses peuvent provoquer des inondations par ruissellement ou des crues rapides de petits cours d’eau, avec des conséquences graves pour la sécurité des personnes et des biens. Météo-France et le réseau Vigicrues du Ministère de la Transition écologique ont créé deux outils d’avertissement spécifiques pour répondre aux besoins des autorités locales de gestion de crise :

- APIC (Avertissement pluies intenses à l’échelle des communes), proposé par Météo-France, vous avertit lorsque les précipitations en cours dans au moins une des communes de votre abonnement revêtent un caractère exceptionnel. Ces avertissements sont produits sur la métropole, Martinique, Guadeloupe, la Réunion et la Nouvelle-Calédonie.
- VigicruesFlash (VF dans la suite), proposé par le réseau Vigicrues, vous avertit d’un risque de crues soudaines dans les prochaines heures dans au moins une des communes de votre abonnement. Ce service automatique ne concerne que certains cours d’eau non couverts par la Vigilance crues.

Il est important de souligner que, à la différence de VF, le service APIC ne considère que les précipitations sans tenir compte de la sensibilité des sols à l’aléa pluviométrique. Comme il est décrit dans Piotte et al. (2020), ces outils ont été mis en place en 2011 pour APIC et en 2017 pour VF, et des évolutions majeures y ont été apportées en 2021.

Pour le grand public, une visualisation est disponible depuis le site apic-vigicruesflash.fr. Étant complémentaire de la Vigilance météorologique (Météo-France) et de la Vigilance crues (Vigicrues), qui informent les pouvoirs publics et les citoyens des risques hydro-météorologiques dans les prochaines 24 heures, cette visualisation est également accessible depuis les sites vigilance.meteofrance.fr (onglet “Pluies intenses”) et www.vigicrues.gouv.fr. Pour l’institutionnel, cette visualisation est complétée par une interface d’abonnement, accessible depuis apic-pro.meteofrance.fr. Cette interface permet de définir l’emprise de ses abonnements ainsi que les destinataires des avertissements.

Ce document présente tout d'abord en section 2 un rappel des algorithmes utilisés dans le calcul de la production amont APIC, ainsi que les évolutions qui y ont récemment été apportées. La section 3 présente l'équivalent pour les avertissements VF. Les grands principes des interfaces de visualisation et d'abonnement seront ensuite discutés dans la section 4, où un bilan des abonnements est également effectué.

2. Production amont APIC

2.1 Principes de calcul jusqu'en 2023

À chaque lancement toutes les 15 min, la production AIGA Pluvio opérée à Météo-France par DirOP/PI fournit des cartes kilométriques de l'aléa pluviométrique. Comme le montre la figure 1, les cartes qualifient le caractère exceptionnel des cumuls 1 à 72 h des lames d'eau observées en les confrontant aux données SHYREG élaborées par l'INRAE et fournissant les valeurs de cumuls associées aux durées de retour 2, 10 et 50 ans.

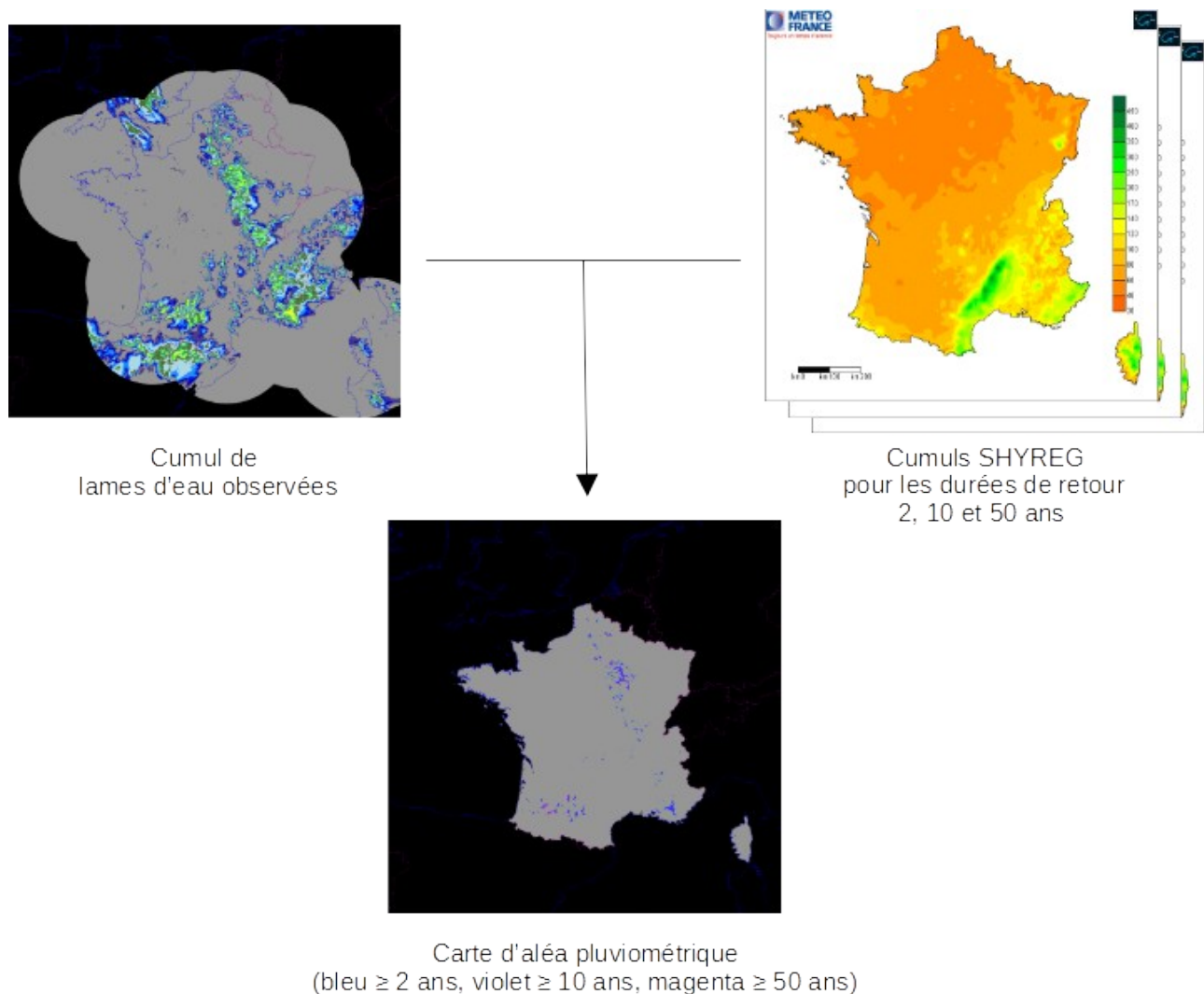


Fig. 1 : Production de la carte d'aléa pluviométrique AIGA Pluvio pour une profondeur de cumul

Lors du calcul des cumuls, un code qualité est déduit de celui qui accompagne chaque lame d'eau cumulée. Il est exploité pour invalider les pixels de qualité insuffisante dans la carte d'aléa pluviométrique, sauf si la valeur de cumul correspond à une durée de retour d'au moins 2 ans.

Une carte de synthèse est déduite des cartes d'aléa AIGA Pluvio relatives aux profondeurs de cumul 1, 2, 3, 4, 6, 12 et 24 h, retenant en chaque pixel l'occurrence ou non d'un dépassement des durées de retour 10 et 50 ans dans au moins une carte d'aléa. Une agrégation géographique est ensuite réalisée pour chaque commune à partir d'un décompte des pixels qui lui sont associés dans cette carte de synthèse (figure 2).

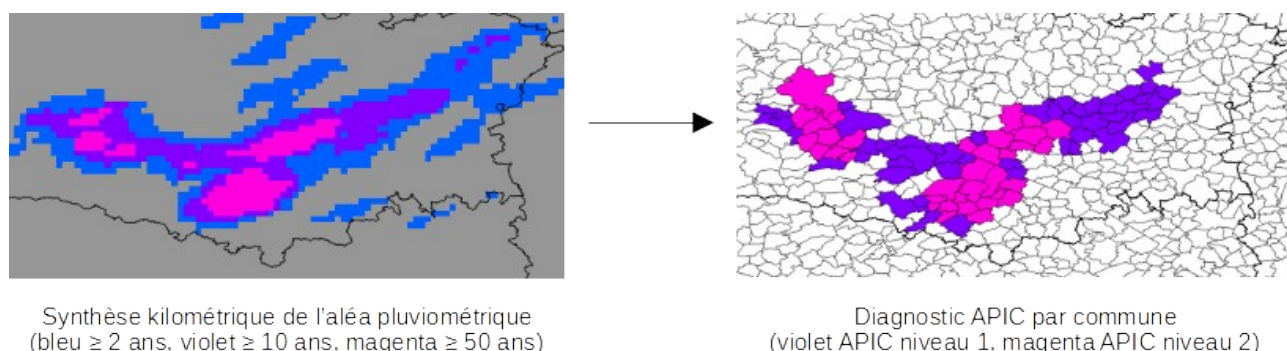


Fig. 2 : Agrégation communale de la carte de synthèse de l'aléa pluviométrique

La production amont APIC aboutit à une liste des communes présentant un diagnostic de “pluies intenses” (niveau 1) ou “pluies très intenses” (niveau 2) selon les durées de retour atteintes. Sont également signalées les communes victimes d’une “dégradation temporaire du service”, c’est-à-dire pour lesquelles le diagnostic APIC n’a pu être établi pour cause de valeurs manquantes (dont qualité insuffisante) ou pour raison technique, à la condition que des pluies d’au moins 5 mm soient prévues dans les 12 h à venir sur la commune.

Initialement en 2011, AIGA Pluvio (donc APIC) était alimenté par les lames d’eau 5 min des mosaïques radar Serval. Depuis la V2 de l’été 2021, ce sont les lames d’eau Antilope 15 min, résultat d’une fusion entre les mosaïques Serval et des mesures de pluviomètres, qui sont utilisées en métropole (Laurantin, 2008). Outre une meilleure qualité de l’estimation des valeurs de lames d’eau, Antilope permet au service APIC de couvrir l’ensemble des communes métropolitaines (dont la Corse), y compris dans les zones insuffisamment couvertes par le réseau radar, représentant environ 7 % des communes qui étaient jusque-là inéligibles au service.

2.2 Évolutions en cours

a. Prise en compte de ANTILOPE pour l’outre-mer

Comme pour la métropole depuis 2021, AIGA Pluvio et APIC s’appuient désormais sur les lames d’eau Antilope 15 min à la Réunion, aux Antilles et en Nouvelle-Calédonie. Bien qu’en deçà de la valeur de 61 % affichée pour la métropole, les indicateurs de qualité¹ calculés sur 2022 pour Antilope montrent un gain de 10 points sur la Réunion et de 17 points sur les Antilles par rapport à la lame d’eau Serval uniquement basée sur la mesure Radar, ce qui permet d’atteindre des valeurs respectives de 38 % et de 41 % (O. Laurantin, communication personnelle). Ce gain significatif en qualité de la lame d’eau amont a permis de débiter une expérimentation toujours en cours avec certains acteurs locaux.

b. Révision des profondeurs de cumuls

Avec le partage des rôles entre les services APIC (aléa pluviométrique) et VF (aléa hydrologique) depuis 2017, il n’apparaît plus utile pour le premier de continuer à scruter les cumuls longs 6, 12 et 24 h, dont les effets spécifiques sont plus attendus en terme de crues que de simple ruissellement des pluies. En outre, la prise en compte de ces cumuls longs avait parfois pour effet de maintenir un APIC bien au-delà de la fin de l’épisode pluvieux qui l’avait déclenché, ou une dégradation temporaire du service bien au-delà d’une

¹ Pourcentage de rapports quotidiens "Antilope sur pluviomètres" sur l’année 2022, pour des cumuls de pluies supérieurs ou égaux à 10 mm en 24 heures, dans la fourchette 0,8 à 1,25.

période d'indisponibilité des lames d'eau, générant de l'incompréhension chez certains usagers. Il a donc été décidé de limiter la liste des profondeurs de cumul considérées à 1, 2, 3 et 4 h.

c. Ajout d'une classe "exceptionnelle"

Des usagers, notamment dans le cadre de la commission hydrologie-énergie du CSM (Conseil Supérieur de la Météorologie), ont exprimé le besoin d'une meilleure discrimination des niveaux d'APIC pour distinguer les cas les plus exceptionnels. Outre les durées de retour 10 et 50 ans déjà exploitées, il a été décidé d'y ajouter la durée de retour 100 ans disponible dans la dernière version des données SHYREG. Cette nouvelle durée de retour permet de définir un 3^{ème} niveau d'APIC "pluies exceptionnelles".

2.3 Vers un diagnostic de tendance à l'aggravation

Des travaux de R&D sont en cours à Météo-France dans le but de fournir aux abonnés une information sur la tendance à l'aggravation des APIC ayant donné lieu à l'envoi d'un avertissement. Le but à ce stade n'est pas de prévenir de l'occurrence probable d'un futur APIC, mais bien de caractériser le risque d'une augmentation significative des cumuls de pluies dans les 3 prochaines heures, cumuls qui viendraient s'ajouter à ceux déjà à l'origine de l'APIC.

Ce diagnostic s'appuie sur la production opérationnelle PIAF-RR2, qui fournit toutes les 15 min des prévisions jusqu'à 3 h d'échéance de lames d'eau. Cette production se base sur une fusion entre la lame d'eau Antilope 15 min extrapolée et l'équivalent prévu par le modèle de prévision numérique AROME-PI (Auger et al. 2016). De cette prévision déterministe sont calculés des pseudo-membres par perturbations spatiales et par "time-lagging", qui consiste à considérer des prévisions antérieures de mêmes validités. Des probabilités scalaires de dépassement de seuils pour des forts cumuls de précipitations dans ces 3h sont ensuite déduites de l'ensemble grâce à l'algorithme Probgén. Une commune pourra ainsi être informée de la probabilité à ce que les cumuls, déjà à l'origine de l'APIC reçu, augmentent de manière significative à courte échéance. Pour plus de détails sur la méthode et sur ses applications, le lecteur se reportera à Warnan et al. 2023.

3. Production amont VigicruesFlash

La production amont VigicruesFlash repose sur l'observation des précipitations et une modélisation hydrologique. Les grands principes sont rappelés sur la figure 3 ci-dessous.

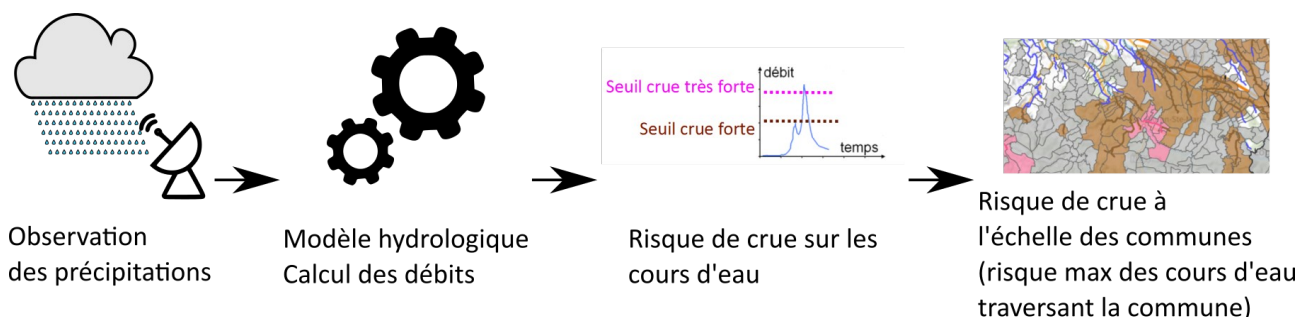


Fig. 3 : schéma conceptuel montrant le principe de calcul des avertissements VigicruesFlash

La chaîne de production amont opérationnelle VigicruesFlash a été totalement renouvelée en juillet 2021. La configuration opérationnelle actuelle est celle décrite comme "en projet" dans l'article de Piotte et al. (2020) sur la base de travaux réalisés dans le cadre de la convention entre la DGPR et l'INRAE (Demargne et Javelle, 2017).

3.1 Évolutions de la chaîne de prévision

a. Description générale

La modélisation hydrologique initiale de Vigicrues Flash, mise en service en 2017, associait un modèle horaire événementiel et deux modèles continus journaliers permettant d'initialiser les niveaux de remplissage des réservoirs du modèle horaire. Afin de fournir des estimations de débit toutes les 15 minutes, 4 chaînes de modèles étaient opérées en parallèle à H, H+15 min, H+30 min et H+45 min, alimentées par la lame d'eau radar Serval. Les modèles journaliers étaient alimentés par la lame d'eau Antilope au pas de temps horaire.

La chaîne de production V2, mise en service en juillet 2021, combine deux évolutions majeures :

- Simplification de la chaîne de modélisation et passage à un unique modèle continu à deux réservoirs. Une description plus complète du modèle est disponible dans l'article de Piotte et al. (2020).
- Utilisation de la lame d'eau Antilope au pas de temps 15' (Laurantin, 2008). Cette lame d'eau issue de la fusion des données radar et pluviomètres permet une meilleure estimation des précipitations, en particulier dans les zones mal couvertes par le radar seul.

b. Calcul des seuils de déclenchement

Les seuils de déclenchement des avertissements crue forte et crue très forte ont été déterminés à partir d'un rejeu long du modèle sur une période de 22 ans (08/1998 à 07/2020) réalisés par l'INRAE. Ce rejeu a été réalisé en utilisant des lames d'eau horaires (Comephore et Antilope) désagrégées au pas de temps 15' selon la répartition temporelle des lames d'eau Serval.

Des rejeux pré-opérationnels ont été réalisés en 2020-2021 pour comparer la chaîne opérationnelle V1 et la chaîne en pré-production V2. Sur la période de rejeu pré-opérationnel (01/08/2019 au 31/10/2020), il est apparu que le nombre d'avertissements générés par la V2 était beaucoup plus important que celui de la V1 (+70% de crues fortes).

Une analyse des cumuls de précipitation a montré que les cumuls d'Antilope 15' n'étaient pas identiques à ceux d'Antilope horaire calculés à J+1, avec une tendance vers un biais positif d'Antilope 15'. Cette différence s'explique par un nombre différent de pluviomètres qui entrent dans le calcul de la lame d'eau 15' et un algorithme différent concernant les précipitations faibles. Cette différence cumulée sur plusieurs mois atteint 10 à 15% sur certains bassins (cf figure 4).

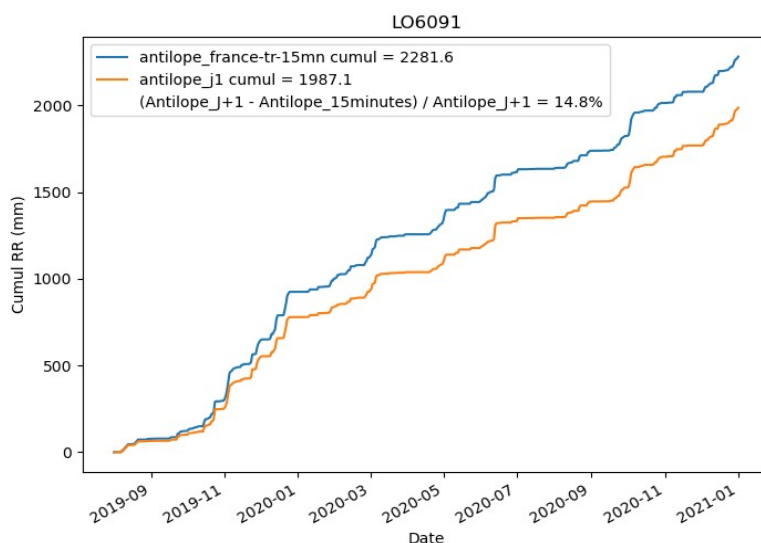


Fig. 4 : Cumuls de précipitations antilope temps réel 15' et antilope temps différé 1h sur une période allant de l'été 2019 à janvier 2021..

Ce biais de lame d'eau, provoque un remplissage trop important des réservoirs du modèle hydrologique, ce qui rend le modèle beaucoup plus réactif et génère des avertissements injustifiés. C'est l'utilisation de lames

d'eau différentes sur la période de rejeu long pour déterminer les seuils et en conditions opérationnelles, combinée à un modèle opérationnel continu qui rend la chaîne opérationnelle sensible à ce biais.

La détermination des seuils à partir de rejeux longs alimentés par une lame d'eau Antilope 15' est impossible car il n'existe pas d'historique suffisamment long de cette lame d'eau. L'utilisation d'une lame d'eau en temps réel au pas de temps 15' est nécessaire. Un correctif a donc été mis en place pour s'affranchir des effets de ce biais.

Ce correctif repose sur la correction à intervalles réguliers des niveaux des réservoirs du modèle grâce à la mise en place d'une chaîne parallèle, alimentée par la lame d'eau Antilope J+1 horaire. Les tests réalisés montrent qu'une répartition uniforme au pas de temps 15' des précipitations horaires donne des résultats similaires à une répartition temporelle des cumuls selon antilope 15' pour calculer le niveau des réservoirs du modèle.

Cette correction est appliquée mensuellement, excepté l'été en raison de son faible intérêt en période sèche. Il est prévu de faire évoluer la chaîne opérationnelle pour que cette correction se fasse automatiquement et au pas de temps quotidien.

3.2 Évolutions de la couverture de service

La sélection des tronçons de cours d'eau et des communes éligibles à Vigicrues Flash évolue régulièrement. Cette sélection se base sur un certain nombre de critères automatiques afin de tenir compte des limites du modèle hydrologique : exclusion des bassins dont le temps de réaction est trop court (inférieur à 1h30), soumis à l'influence du karst, de la neige ou de barrages, ou encore des cours d'eau inclus dans le réseau réglementaire Vigicrues. Cette première sélection fait l'objet d'une expertise des services de prévisions des crues et du SCHAPI afin de gagner en cohérence, d'assurer la continuité avec le réseau réglementaire ou de tenir compte de certaines particularités locales. Dans la version initiale du service, alimentée par la lame d'eau Serval, un filtre sur les indicateurs de performance des mesures radar était appliqué pour exclure les bassins sur lesquels la qualité de la mesure des précipitations n'était pas suffisante.

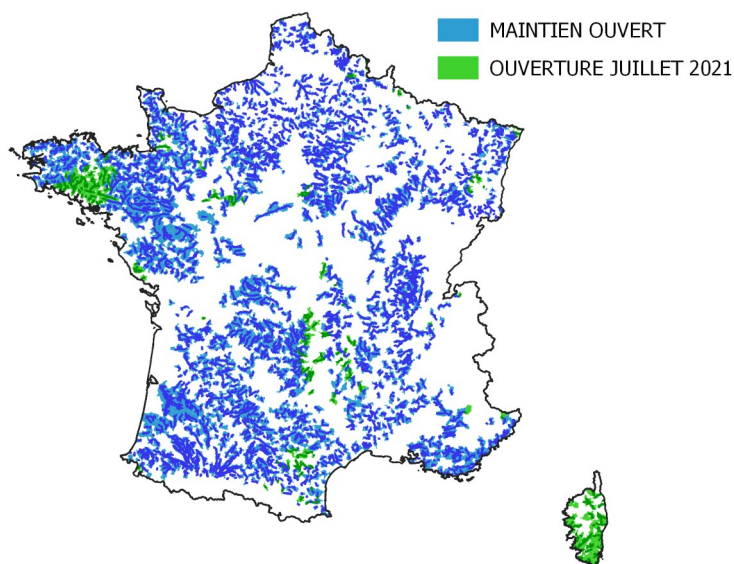


Fig. 5 : Evolution de la couverture de service Vigicrues Flash - Juillet 2021

Depuis juillet 2021, avec l'utilisation d'Antilope 15', on considère que la qualité de la lame d'eau est suffisante pour ne plus appliquer ce filtre, ce qui a eu pour conséquence l'ouverture du service sur certains secteurs précédemment exclus, comme la montagne noire, certains secteurs du Massif Central ou le centre Bretagne (figure 5). Des travaux sur le modèle hydrologique ont également permis d'ouvrir le service sur la Corse.

4. Interfaces APIC-VF

Depuis juillet 2021, deux nouvelles interfaces ont été mises à disposition du grand public et des acteurs institutionnels. La bascule vers cette V2 a été par ailleurs l'occasion d'effectuer une communication large sur le service par le biais des services préfectoraux.

4.1 Visualisation pour le grand Public

Les avertissements APIC et VF sont tous deux proposés en visualisation au grand public sur le site apic-vigicruesflash.fr, dans l'objectif d'informer chaque citoyen et de lui permettre de jouer son rôle pour assurer sa sécurité vis-à-vis des risques hydrométéorologiques. La figure 6 ci-dessous en montre un exemple pour chacun des deux produits pour la même date. Une profondeur de 3 jours est proposée avec un rafraîchissement toutes les 15 min. Cette visualisation a été pensée "responsive design" de manière à être accessible depuis un téléphone portable.

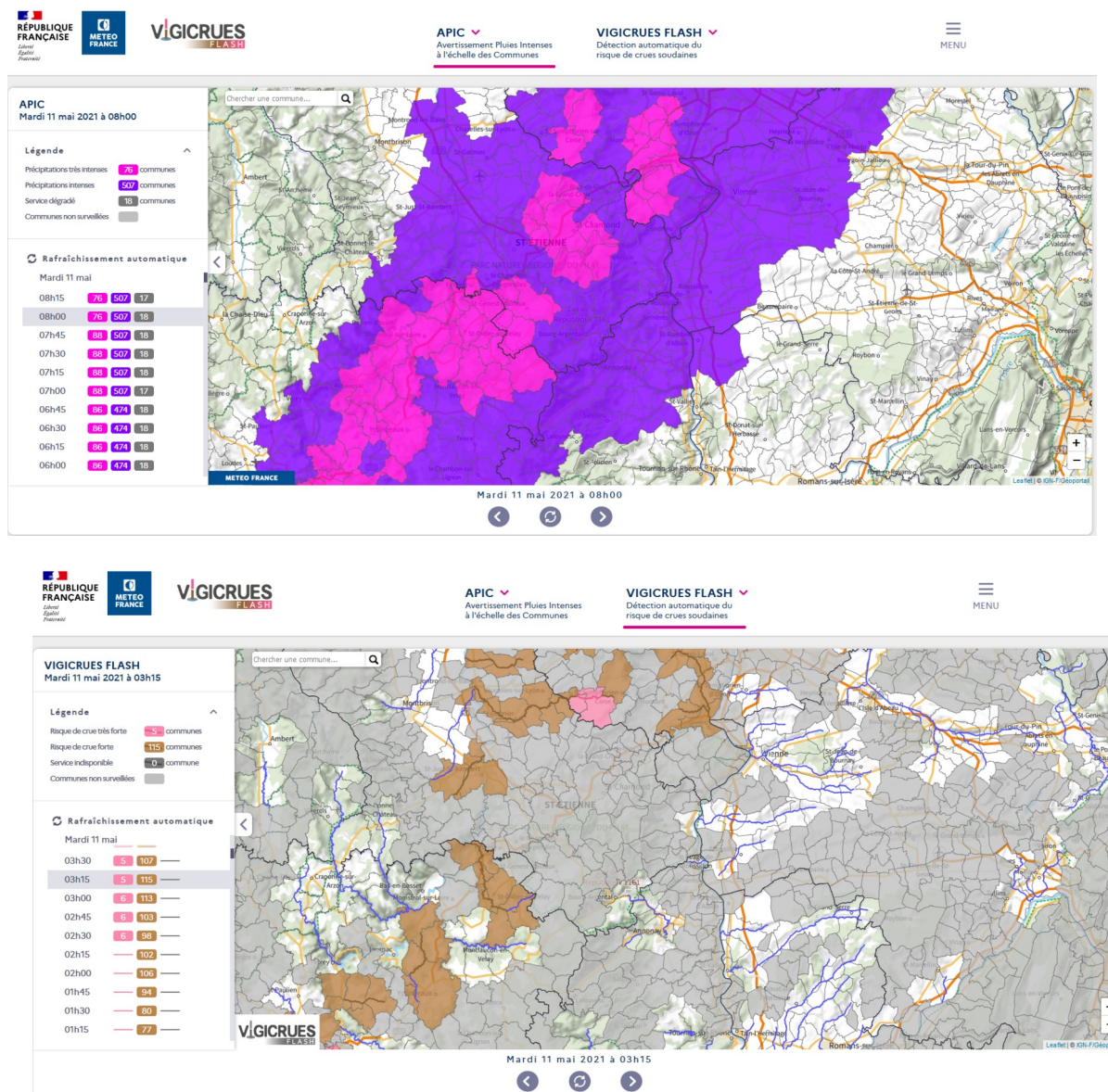


Fig.6 : Exemple de visualisation APIC (haut) et VF (bas) pour le cas du 11 mai 2021 à 8 h autour de St Etienne. Les communes grisées ne sont pas éligibles, les tronçons en bleu sont couverts par VF. Le menu APIC permet de basculer sur les domaines outre-mer.

4.2 Interface d'abonnement

a. Possibilités offertes

Cette deuxième interface est accessible depuis l'adresse apic-pro.meteofrance.fr. Les usagers autorisés à demander l'ouverture d'un compte depuis la page d'accueil sont les communes, les intercommunalités (de plus en plus impliquées dans la gestion du risque inondation, notamment dans le cadre de la GEMAPI), les opérateurs de services, et divers organismes d'utilité publique impliqués dans la gestion de crise.

Une demande active l'envoi d'une notification vers la préfecture référente qui, après vérification de la demande, peut ensuite valider l'ouverture du compte. Ce rôle de validateur peut également être endossé par un gestionnaire de crise habilité.

Cette étape de validation franchie, le titulaire du nouveau compte a la possibilité, en plus d'accéder à une visualisation cartographique identique à celle proposée au grand public, de définir jusqu'à 5 abonnements.

Pour chaque abonnement, il doit définir :

- le produit (APIC en métropole, Antilles, Réunion ou Nouvelle-calédonie, VF en métropole)
- une zone d'emprise composée de un ou plusieurs grains communaux ou départementaux, à définir depuis une carte cliquable
- les destinataires des avertissements. Une limite maximale de 5 destinataires est imposée pour les SMS ou les emails. Un unique destinataire peut être choisi pour les appels vocaux

Pour une commune, il est recommandé de se constituer à minima un premier abonnement couvrant uniquement la commune en question, et d'un deuxième avec une emprise englobant cette commune en choisissant par exemple les communes limitrophes, voire le département. Ce deuxième abonnement permet une certaine anticipation sur l'occurrence prochaine de précipitations intenses sur son territoire.

b. Bilan des comptes actuels

Le nombre de comptes disposant d'abonnements à APIC et/ou à VF est récapitulé dans le tableau 1 ci-dessous pour différentes catégories d'utilisateurs. Au total, presque 13 000 comptes sont comptabilisés, dont 237 intercommunalités et 43 opérateurs de service. Au total 1833 nouveaux abonnés ont rejoint la plateforme depuis la bascule de la V2 en juillet 2021.

	APIC et/ou VF	APIC	VF
communes	12095	10649	3176
intercommunalités	237	131	178
opérateurs	43	29	32
autres	533	420	295
TOTAL	12908	11229	3681
dont depuis V2	1833	668	1401

Tableau 1 : nombre d'abonnés aux services APIC et VF. "Autres" désigne les comptes de préfectures et de divers gestionnaires de crise. "dont depuis V2" comptabilise les nouveaux abonnés depuis la bascule de la V2 début juillet 2021 (chiffres au 28 juin 2023).

La répartition géographique des abonnements est représentée sur la figure 7. Pour les deux services, les départements du sud-est sont ceux comptant le plus d'utilisateurs. La plus forte proportion d'abonnés pour APIC s'explique principalement par les différences de couverture de service avec VF.

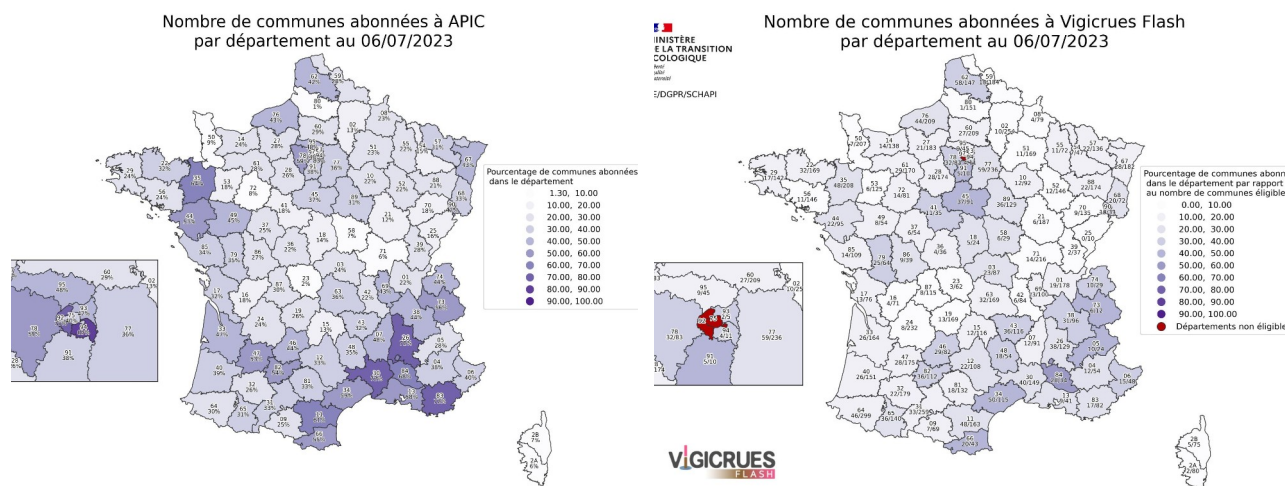


Figure 7 : répartition géographique des abonnements à APIC (à gauche) et à VF (à droite) au 6 juillet 2023. Les chiffres indiquent un pourcentage de communes abonnées par département.

4.3 Évolutions récentes ou en cours

a. Accès à la liste des comptes pour les gestionnaires

Une évolution très intéressante pour divers gestionnaires de comptes a consisté à proposer un tableau récapitulatif regroupant tous les comptes dont le titulaire est référent. Depuis l'automne 2022, ce dernier a désormais accès aux détails des comptes (abonnements, emprises, nombre de destinataires...), peut agir sur le statut du compte en question et peut lui-même éditer certains champs comme l'adresse mail du compte. Cette dernière possibilité facilite notamment la réinitialisation de mot de passe pour des usagers ne connaissant pas l'adresse qui avait initialement été renseignée.

b. Diagnostics

Plusieurs diagnostics seront proposés très prochainement depuis l'interface institutionnelle :

- des tableaux de synthèse récapitulant les avertissements par communes sur un département et pour une date donnée,
- des cartes de rejeu pour des situations antérieures aux 3 jours déjà proposés,
- un historique des diffusions passées associées au compte.

Ces diagnostics permettront aux abonnés d'effectuer leur propre analyse de situations passées, notamment de leur chronologie et de leur sévérité. Ils pourront également obtenir la liste des destinataires ayant effectivement reçu un avertissement.

c. Enrichissement des avertissements APIC

Comme nous l'avons vu en section 2.3, un diagnostic d'aggravation des APIC observés permettra à court terme de compléter l'avertissement déjà envoyé d'un message renseignant sur la tendance à 3 h de l'événement pluvieux en cours à l'origine de l'APIC. Un tel message avertira par exemple de la probabilité que les cumuls en cours continuent à s'amplifier, ou bien à contrario que l'épisode s'achève.

5. Conclusions

Depuis l'été 2021, le service APIC-VigicruesFlash, issu d'une collaboration entre Météo-France et le SCHAPI, a significativement évolué. La visualisation des avertissements est désormais accessible au grand public, la lame d'eau Antilope est utilisée comme donnée d'entrée pour les deux produits sur la métropole et

en outre-mer pour APIC, les abonnements sont proposés aux intercommunalités et opérateurs, les interfaces de visualisation et d'abonnement ont été entièrement revues.

Des actions sont en cours pour améliorer chaque maillon de ce service, que ce soit dans les calculs utilisés en amont dans les productions des avertissements ou dans la production finalisée depuis les interfaces. Des communications régulières vers l'institutionnel restent toutefois indispensables pour une meilleure appropriation du service et pour une plus grande généralisation de son utilisation.

Remerciements : Les travaux sur les évolutions des interfaces de visualisation et d'abonnement, ainsi que les travaux de R&D basés sur la prévision probabiliste des précipitations pour les premières échéances (cf Warnan et al., 2023) bénéficient tous deux de financements de la part de la DGPR, effectués dans le cadre de la convention Météo-France/DGPR en cours.

Références

Auger L., Dupont O., Hagelin S., Brousseau P. and Brovelli P., (2016) – AROME–NWC: a new nowcasting tool based on an operational mesoscale forecasting system. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, <https://doi.org/10.1002/qj.2463>.

Demargne J, Javelle P. 2017. Amélioration de la modélisation hydrologique pour le service d'avertissement Vigicrues Flash. Programme MEDDE (DGPR / SRNH) – IRSTEA 2017. Rapport d'étude HYDRIS Hydrologie, 56 p.

Laurantin, O. (2013). ANTILOPE: hourly rainfall analysis over France merging radar and rain gauge data. Paper presented at the 11th International Precipitation Conference, Ede-Wageningen, The Netherlands.

Piotte O., Montmerle T., Fouchier C., Belleudy A., Garandeau L., Janet B., Jauffret C., Demargne J., Organde D., 2020 : Les évolutions du service d'avertissement sur les pluies intenses et les crues soudaines en France. La Houille Blanche, 106:6, 75-84, <https://doi.org/10.1051/lhb/2020055>

Warnan A., Bouttier F., Montmerle T., Tzanos R., 2023 : Approche probabiliste de prévision immédiate de dépassements de seuils de précipitations à l'échelle communale. Colloque SHF "*Prévision des crues et des inondations – Avancées, valorisation et perspectives*" Toulouse, 28-30 novembre 2023.