



PRINCIPALES AVANCÉES DU RÉSEAU VIGICRUES DEPUIS SA CRÉATION DANS LE DOMAINE DE LA PRÉVISION DES INONDATIONS

*Main advances in flood area forecasting by the Vigicrues network since its
creation*

Auteurs : ZUBER Félicien^{1*}, Mathias DAUBAS¹, Aurélie ESCUDIER², Anne-Marie FROMENTAL¹, Pierre-Adrien HANS³

* *auteur correspondant*

¹Service central d’Hydrométéorologie et d’Appui à la Prévision des Inondations (MTECT/DGPR/SRNH), 42 avenue Gaspard Coriolis, Toulouse, France,

felicien.zuber@developpement-durable.gouv.fr ;

mathias.daubas@developpementdurable.gouv.fr ; anne-marie.fromental@developpement-durable.gouv.fr

²DREAL Occitanie, 1 rue de la Cité administrative, 31074 Toulouse Cedex 9, France, aurelie.escudier@developpement-durable.gouv.fr

³DREAL Centre-Val de Loire, 5, Avenue Buffon, BP 6407 45064 Orléans Cedex 2, France, pierre-adrien.hans@developpement-durable.gouv.fr

Résumé : Le réseau Vigicrues a mis en œuvre depuis 2008 une opération stratégique déclinée en programmes d’actions visant à passer de la prévision des crues à la prévision des inondations, c’est-à-dire de proposer des scénarios de zones inondables permettant de connaître les conséquences terrain d’une crue donnée en complément des prévisions de hauteurs et de débits au droit des stations hydrométriques. Le réseau Vigicrues s’est organisé pour produire et diffuser des zones inondées qui sont des données géographiques obtenues à partir d’observations et relevés de terrain suite à une crue et de modélisations hydrauliques. Des zones inondées sont aujourd’hui disponibles sur la plupart des grands cours d’eau de France métropolitaine. Ces travaux doivent être poursuivis pour compléter utilement la production des catalogues de scénarios de zones inondables, notamment dans les secteurs endigués à forts enjeux. De plus la diffusion des données au grand public au format SIG reste un des objectifs à atteindre prochainement. L’évaluation de cette démarche dans son ensemble permettra par la suite de l’adapter aux évolutions et nouveaux besoins notamment à l’ambition du réseau Vigicrues de couvrir l’ensemble du territoire par la vigilance crues dans les années à venir.

Mots-clefs : inondation, prévision des inondations, réseau Vigicrues, Viginond

Abstract : Since 2008, the Vigicrues network has been implementing a strategic operation broken down into action programs aimed at moving from flood forecasting to flood area forecasting, i.e. proposing scenarios of flood-prone areas in order to understand the

consequences on the ground of a given flood, in addition to height and flow forecasts at hydrometric stations. The Vigicrues network is organized to produce and distribute flood-prone areas, which are geographical data obtained from observations and field surveys following a flood, and from hydraulic modeling. Flood areas scenarios are now available for most major rivers in mainland France.

Further work is needed to complete the flood area catalogs, as a useful complement to the production of flood area catalogs based on several scenarios, particularly in levee protected areas with high stakes. In addition, a public data release in GIS format remains to be done to achieve the initial objectives. An overall project assessment will enable us to adapt it to changes and new needs, particularly to Vigicrues network's ambition to cover the entire country with flood watches in the years to come.

Keywords : flood, flood forecasting, Vigicrues network, Viginond

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE LA PRÉVISION DES INONDATIONS

La prévision des hauteurs d'eau et des débits à une station hydrométrique, appelée « prévision des crues », ne permet pas d'appréhender facilement les conséquences terrain concrètes d'une crue débordante. La « prévision des inondations » vise à compléter cette information avec une traduction en termes de zones géographiques inondées.

À sa création en 2003, l'ambition de travailler sur les inondations était déjà présente et affichée dans le nom même du Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations (SCHAPI). Les travaux sur cette thématique n'ont véritablement débuté qu'à partir de 2008 et se poursuivent encore aujourd'hui en lien avec les Services de Prévision des Crues (SPC) dans le cadre du réseau « Vigicrues ».

2. LES PRINCIPALES AVANCÉES DE LA PRÉVISION DES INONDATIONS DEPUIS 2008

2.1 La mise en place d'un standard de données

Comme le présentaient *Escudier et al.* en 2016, le réseau Vigicrues a travaillé à la mise en place d'un référentiel national de zones inondées s'appuyant sur un système d'information baptisé « Viginond ». Une méthodologie de production des zones inondables a été construite et a introduit principalement trois types d'objets :

- la Zone d'Inondation Potentielle (ZIP) qui représente l'emprise surfacique de l'inondation,

- les Zones Inondées par Classes de Hauteurs d’eau (ZICH) qui représentent les hauteurs de submersion par rapport au terrain naturel par pas de 50 cm,
- les Lignes Iso-Cotes (LIC) qui sont les courbes de niveaux représentant dans un repère unique (NGF IGN69) les altitudes atteintes par les eaux lors d’une inondation.

Au-delà de leur méthodologie de production, ces objets utilisent un format de données standardisé permettant de faciliter leur collecte dans une base de données unifiée, la base Viginond, puis leur diffusion et réutilisation. L’utilisation d’un format de données unique est l’une des grandes forces du dispositif, cela est en effet indispensable pour que les données puissent être utilisées par un acteur compétent à l’échelle nationale. Le format de données a été défini dès 2014 avant le lancement de l’outil Viginond en 2015. Un dictionnaire de données visant à recueillir les définitions qui précisent la terminologie et les données disponibles dans le domaine de la prévision des inondations a été produit avec le Service d’administration nationale des données et référentiels sur l’eau (Sandre) à partir de 2014. Il est disponible en ligne en version validée depuis 2018 (<http://id.eaufrance.fr/ddd/VIN/1>) et permet aux utilisateurs de s’approprier les concepts de Viginond.

Les données sont systématiquement validées par les Services de prévision des crues avant leur insertion dans la base de données. Les SPC étant les garants de la conformité et de la qualité des données disponibles.

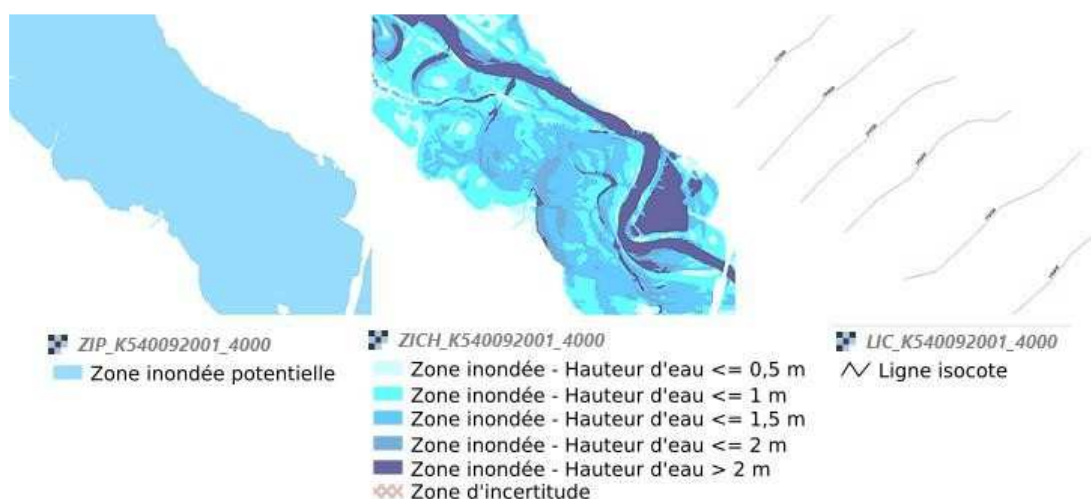


Figure 1 : Exemples de ZIP, ZICH et LIC pour une hauteur de 4,00 m à la station de Saint-Amand-Montrond (détails)

Ces données géographiques de zones inondées sont complétées par des informations les décrivant et précisant la façon dont elles ont été obtenues. Elles sont rassemblées dans des fiches de documentation liées à chaque lot de données.

Les zones inondées sont référencées par rapport à des hauteurs d'eau à des stations hydrométriques, généralement une hauteur à une station. C'est ce rattachement des données qui permet de faire le lien avec les prévisions de hauteurs d'eau publiées en temps de crues au droit des stations hydrométriques du réseau Vigicrues.

2.2 La collecte des informations sur les inondations

Le réseau Vigicrues s'est organisé pour collecter et archiver des informations sur les zones inondées observées lors des événements de crues. Les autres types d'événement d'inondations (submersion marine, ruissellement, etc.) peuvent également être traités à la marge, même si le périmètre strict du réseau Vigicrues est celui des débordements de cours d'eau. Ces informations sont précieuses pour caler et valider les modèles permettant la production de ces zones inondées. Elles peuvent également être exploitées directement pour cartographier sans modélisation la zone inondée d'un événement. Cette collecte d'informations peut inclure des campagnes de relevés de laisses de crues et/ou l'acquisition de prises de vues aériennes en crue.

Les SPC réalisent des opérations de relevés de laisses et de plus hautes eaux après chaque crue d'intérêt. Certains SPC sur les secteurs lents font également des relevés en crue de lignes d'eau (pas forcément au maximum de la crue). La forme concrète de ces campagnes peut varier ; il s'agit généralement soit de faire appel à des prestataires, soit de coordonner la réalisation de la campagne en partenariat avec d'autres organismes (collectivités territoriales, Directions Départementales des Territoires, partenaires techniques, etc.), soit de les réaliser en régie. Les laisses sont les marques physiques laissées par une inondation, elles témoignent du niveau atteint par l'eau lors des débordements. Les relevés de laisses sont généralement nivelés. Après mise en forme et critique et validation, ces données sont capitalisées dans la base de données nationale des repères de crues (<https://www.reperesdecrues.developpement-durable.gouv.fr/>) (Piotte, *et al*, 2015).

L'acquisition de prises de vues aériennes en crue se fait principalement par le biais d'une convention entre l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN) et la Direction Général de la Prévention des Risques (DGPR). L'acquisition des photographies doit se faire au plus proche du maximum de la crue sur le secteur d'intérêt afin de photographier l'extension maximale de l'inondation. Souvent les conditions météorologiques sont dégradées à ce moment-là et la couverture nuageuse complexifie généralement cette acquisition de prises de vues aériennes. Les avions utilisés par l'IGN permettent d'adapter les horaires des vols d'acquisition et de passer sous le couvert nuageux, ce qui permet d'acquérir des images dans le domaine des rayonnements visibles. L'utilisation de drones et de satellites pour l'acquisition de prises de vues aériennes est encore expérimentale. Il est à noter que ces domaines évoluent rapidement. Une anticipation peut être nécessaire pour obtenir les autorisations de vol pour les drones, par exemple pour obtenir une autorisation de vol en agglomération « aéronautique » le dépôt d'une demande en préfecture est nécessaire six jours ouvrables avant le vol. Par contre

hors agglomération aéronautique et en dehors des zones peuplées, aucune autorisation n’est nécessaire (Guittard, 2018). L’utilisation des drones pour l’acquisition de prises de vues en crues semble être un bon complément à l’avion. En effet les plus faibles coûts permettent de mobiliser un drone plus longtemps et sur des crues d’ampleur plus faible. Les constellations de satellites ne permettant de prendre des images qu’à des dates fixes, cela nécessite également une anticipation suffisante pour la programmation des prises de vue (délai variable selon la constellation utilisée, mais généralement de l’ordre de plusieurs jours). D’autre part l’acquisition d’images dans le domaine du visible n’est possible qu’en l’absence de nuages. Le satellite permet par contre de couvrir de très larges zones à des coûts très faibles (certains dispositifs permettent aux services de l’État d’obtenir les images gratuitement).

2.3 La production des ZIP, ZICH et LIC

La production des ZIP, ZICH et LIC, comme plus généralement celle de zones inondables réalisée dans d’autres cadres (PPRi, Directive Inondation, études d’aménagement), peut se faire à travers l’exploitation directe des données acquises lors d’une crue historique (prises de vues et/ou repères et laisses de crues), généralement à travers la reconstitution de la ligne d’eau du maximum de l’inondation. Cependant la méthode de production la plus répandue est l’exploitation de modèle hydraulique 1D ou parfois de modèles hydrauliques 2D.

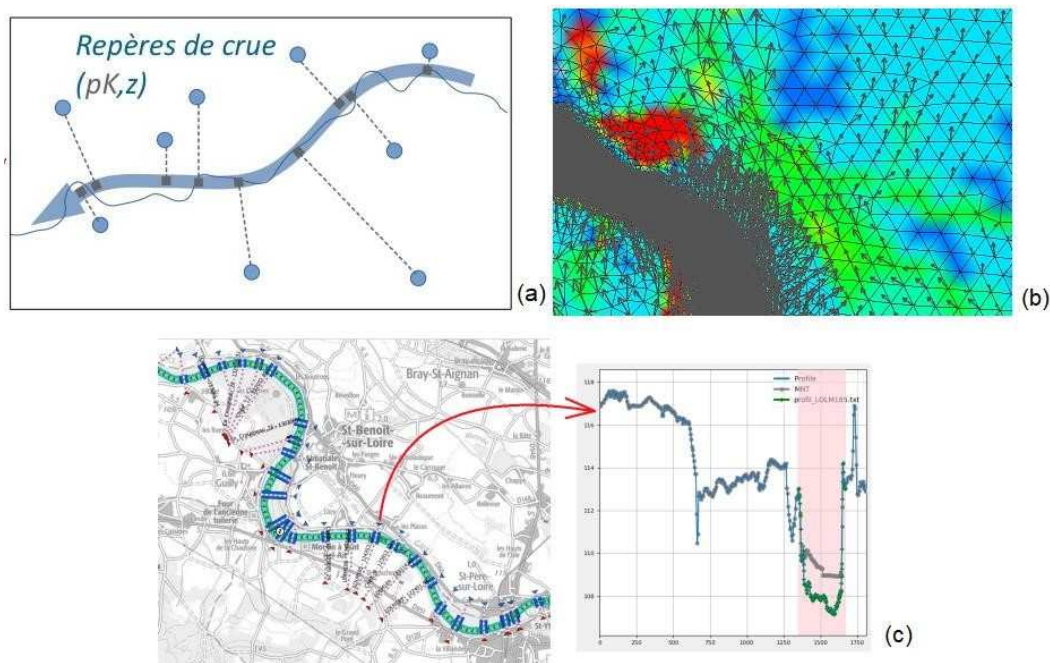


Figure 2 : Illustrations des différentes méthodes de production de zones inondées : (a) projection de repères de crues sur l’axe d’écoulement pour obtenir une ligne d’eau du maximum de la crue, (b) visualisation des hauteurs de submersion (couleur) et des vitesses (flèches) calculées avec un modèle hydraulique 2D, (c) architecture d’un modèle 1D Mascaret sur la Loire. Source : formation prévision des inondations 2022

Il est à noter que la précision des résultats obtenus est directement liée à la précision du modèle numérique de terrain (MNT) utilisé. A partir de 2011, des campagnes d’acquisition Lidar de MNT successives ont été réalisées par l’IGN pour couvrir les besoins de la DGPR concernant le risque inondations et notamment la production de ZIP, ZICH et LIC. Ces données sont intégrées dans le RGE ALTI©, produit le plus couramment utilisé, avec des précisions généralement de l’ordre de 20 cm en altitude (<https://geoservices.ign.fr/rgealti>). L’IGN a débuté en 2021 un nouveau programme d’acquisition en Haute Densité (10 points par mètre carré, contre 2 point par mètre carré pour les campagnes précédentes). L’apport pour la cartographie des inondations de ces nouvelles données a pu faire l’objet de premières études montrant l’importance de la période d’acquisition sur la précision des données, notamment acquises sur des secteurs dont la couverture végétale peut être dense. Ces données ouvrent néanmoins des perspectives très intéressantes en matière de caractérisation du territoire, notamment sur les secteurs jusqu’à présent non couverts par du MNT LIDAR (Escudier, *et al.*, 2023).

Afin de faciliter la production des zones inondées, le réseau Vigicrues s’est doté de méthodes et d’outils, notamment de plugins QGIS facilitant la réalisation des emprises inondables (plugin Carto ZI), mais aussi la simplification et la mise en forme des objets géométriques associés (plugins Carto ZI et Viginond Format).

La qualité des MNT disponibles, avec des précisions et donc des raffinements importants, a introduit le besoin de simplifier les données produites. À défaut de quoi leur diffusion à travers des services web, leur affichage et leur réutilisation (par exemple croisement avec d’autres données géographiques comme des couches d’enjeux) seront rendus difficiles, voire impossibles. Pour cela des protocoles d’enchaînement d’algorithmes de simplification ont dû être définis. Le traitement de ces problématiques a également éclairé le besoin de s’assurer de la validité des géométries des données produites. Ce sujet, particulièrement complexe dans le cas de grandes géométries comme celles produites dans le cadre de la prévision des inondations, a été traité par un groupe de travail du réseau Vigicrues en 2022. Ces travaux ont permis de lever la plupart des difficultés à ce sujet (Zuber, *et al.*, 2022).

2.4 La diffusion des zones inondées

À partir de 2015, les données de zones inondées de Viginond ont été diffusées directement aux services de l’État : services risques en DREAL, missions Référents Départementaux Inondations (RDI) en DDT(M), services du Ministère de l’Intérieur en charge de la gestion de crise. La diffusion se fait à travers l’exposition de services web permettant la diffusion des flux cartographiques WMS et WFS. Ces services web permettent d’utiliser les données dans des applications clientes : plugin QGIS Viginond INVITE, Superviseur pour la prévision des crues et l’outil Synapse du Ministère de l’Intérieur.

Cette diffusion s’est ensuite progressivement étendue aux collectivités, d’abord ponctuellement à partir de 2016, puis elle s’est généralisée à partir de 2018. Les données ont été mises à disposition directement par les SPC ou les DDT(M) par le partage d’atlas PDF (produits par les SPC) ou de données SIG (sous couvert d’une convention de partage de données).

Enfin depuis 2022, des fiches PDF de scénarios d’inondation sont produites et diffusées au grand public via le portail Vigicrues.

Début 2023, plus de 3200 ZIP (dont environ 60 % diffusées sur le portail Vigicrues) et plus de 2600 ZICH (55% sur Vigicrues) sont disponibles dans Viginond, et plus de 500 stations hydrométriques : la plupart des grands cours d’eau de France métropolitaine disposent d’au moins une zone d’inondation potentielle (Figure 3).



Figure 3: Stations hydrométriques disposant d’au moins une ZIP en avril 2023

2.5 La formation

Une première version d’une formation sur la thématique prévision des inondations à destination principalement des agents du réseau Vigicrues a été proposée entre 2015 et 2019. D’une durée de quatre jours en présentiel, elle traitait des différents aspects de la thématique : capitalisation des crues en cours ou passées, exploitation des données pour la création de ZIP et stockage, partage et visualisation de ZIP avec Viginond.

Un important travail de refonte de cette formation a été entrepris en 2021 et 2022 afin de la transformer sur un périmètre identique en formation à distance asynchrone, c’est-à-dire une formation où le stagiaire est autonome sur le suivi du cours et la réalisation d’exercices pratiques. L’intérêt de ce format est de permettre aux formations d’avoir lieu même lorsque peu de personnes y sont inscrites. Il permet également à chaque personne d’aller à son rythme et d’approfondir plus ou moins les sujets en fonction de ses connaissances préalables et de ses

besoins. Cette nouvelle formation a été dispensée pour la première fois fin 2022. Elle continuera de vivre et de s’enrichir dans les années à venir.

3. PERSPECTIVES

3.1 *Le traitement de secteurs spécifiques*

La doctrine actuelle de production des scénarios de zones inondables nécessite encore des évolutions et des précisions sur certains territoires.

Les secteurs présentant le plus d’enjeux sont souvent concernés par la présence de systèmes d’endiguement. Les systèmes d’endiguement permettent de soustraire des secteurs au risque d’inondations, mais créent aussi une difficulté pour représenter la zone pouvant être inondée en cas de défaillance de ces ouvrages. On ne peut en effet pas déterminer avec certitude à partir de quel niveau d’eau dans le cours d’eau le système d’endiguement va rencontrer des dysfonctionnements, mais seulement estimer des probabilités d’inondation de la zone protégée par rupture de l’ouvrage. Par exemple, le scénario 3 d’une étude de dangers d’un système d’endiguement correspond à un risque de rupture supérieur à 50 %. La nature des dysfonctionnements provoqués est également incertaine. Il est également impossible de modéliser toutes les défaillances et combinaisons de défaillances possibles.

Actuellement, les zones soumises au comportement des systèmes d’endiguement sont intégrées dans les ZICH dans une classe spécifique et déterminées à partir de l’altitude de la digue. La solution envisagée est d’articuler à l’avenir les zones inondables de la prévision des inondations avec les études de danger produites dans le cadre du classement des systèmes d’endiguement en cours.

D’autres secteurs sont sources de difficultés pour la représentation des zones inondées, les estuaires et secteurs sous influence maritime. En effet les zones inondées peuvent dépendre du nombre de pleines mers au-delà d’un seuil ou de la durée de tenue du plein.

Il existe d’autres problématiques sur le référencement des zones inondables par rapport à des hauteurs d’eau à des stations hydrométriques. De manière générale, la définition de la zone d’influence d’une station hydrométrique, c’est-à-dire de la zone dans laquelle la mesure à la station est représentative de l’inondation, pose parfois des difficultés notamment au niveau des confluences. Il serait souhaitable d’enrichir la méthodologie à ce sujet. Il existe également des secteurs dans lesquels l’utilisation d’une hauteur d’eau ne suffit pas pour caractériser une crue, ainsi l’introduction de référencement par rapport à des débits à des stations pourrait être une solution. Dans les secteurs avec de très larges lits majeurs, ou bien avec des lits en toit, l’utilisation de volume de crue pourrait aussi être nécessaire. Ces propositions d’évolutions apporteraient des solutions sur des secteurs particuliers, mais sont à étudier en détails, car elles

apporteraient également une complexité accrue pour la normalisation, le stockage, la diffusion et l’interprétation des données.

3.2 L’élargissement de la diffusion des données

Actuellement le grand public a accès aux données de la prévision des inondations à travers un mode d’affichage de fiches PDF disponibles sur le portail Vigicrues (<https://www.vigicrues.gouv.fr>). Cette modalité de diffusion correspond plutôt à un porter à connaissance, elle permet de présenter la donnée, mais pas de la visualiser finement. En effet les échelles de représentation des parties cartographiques sont souvent très petites. De plus le format PDF ne permet pas à l’utilisateur d’obtenir les données SIG pour les réutiliser dans ses outils et par exemple les croiser avec ses propres données. La diffusion des fiches PDF n’est qu’une première étape des travaux visant à répondre au besoin de diffusion des données de Vigicrues au grand public. Un projet visant d’une part à diffuser des données SIG et d’autre part à les afficher dans un module de cartographie dynamique est en cours depuis fin 2021. Il devrait aboutir début 2024.

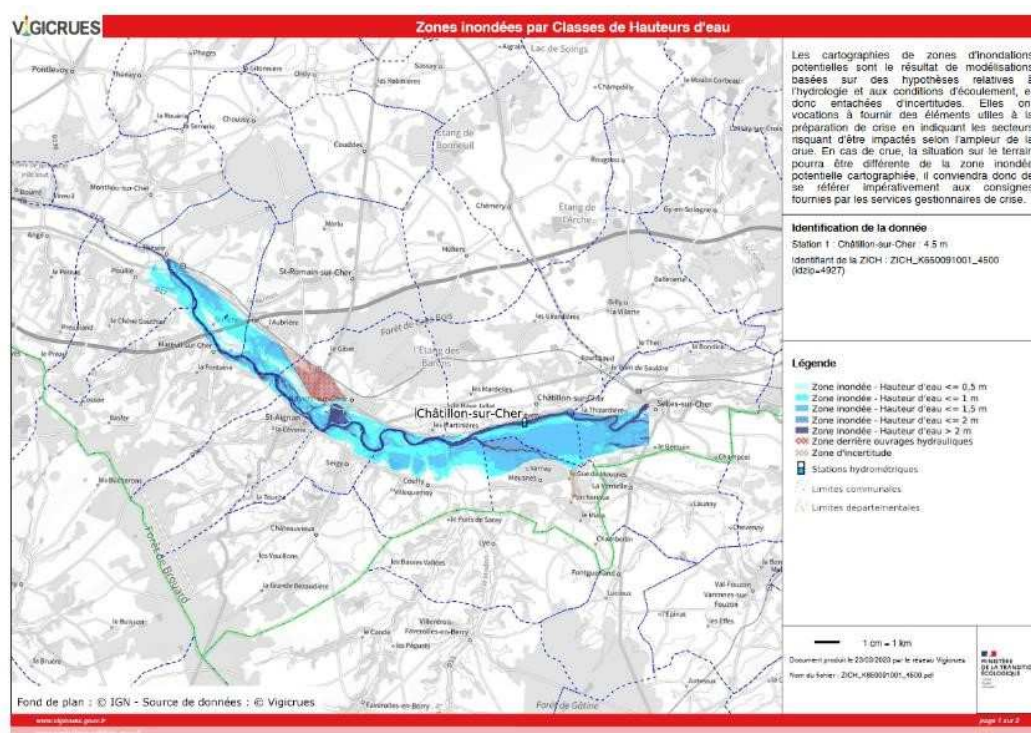


Figure 4: Exemple de la première page d'une fiche PDF (représentation cartographique) pour la Zone Inondée Potentielle référencée par 4,5 mètres à la station du Cher à Châtillon-sur-Cher. La faible échelle de représentation (1:250 000) permet seulement à l'utilisateur de visualiser la zone couverte. https://www.vigicrues.gouv.fr/ftp/pdf/ZICH_K650091001_4500.pdf

La diffusion des données SIG se fera à travers une infrastructure de diffusion adaptée : la Géoplateforme de l'IGN actuellement en cours de lancement

(<https://www.ign.fr/geoplateforme>). Les données de Viginond seront ainsi régulièrement synchronisées avec un entrepôt de données de la Géoplateforme. Les données de cet entrepôt seront diffusées librement sous forme de flux WMS et WFS dans un premier temps. Cette modalité de diffusion des données est plus adaptée pour des utilisateurs ayant des connaissances en SIG, en leur permettant une utilisation de la donnée géographique.

La diffusion des données de Viginond à travers la Géoplateforme deviendra dans une seconde étape, le mode de diffusion principal des données de Viginond en remplacement des modalités préexistantes.

Une interface d’affichage des données de zones inondables diffusées par la Géoplateforme sera proposée sur le portail Vigicrues. Elle prendra la forme d’un module de cartographie dynamique : l’utilisateur pourra naviguer et zoomer sur la représentation cartographique de la zone inondable habillée avec un fond de plan. Cette modalité de diffusion des données est adaptée pour tout type d’utilisateur, elle nécessitera simplement l’utilisation d’un navigateur internet.

3.3 Vers de nouveaux objectifs

Les objectifs généraux de la prévision des inondations ont été définis lors du lancement de la démarche à partir de 2008, ils ont peu évolué depuis, même si des ajustements ont pu être apportés. Dans le cadre du projet stratégique du réseau Vigicrues, une démarche va être mise en place entre mi 2023 et mi 2024 pour questionner et compléter les objectifs actuels et pour en définir de nouveaux. Ils pourront ensuite être déclinés dans une feuille de route et l’ensemble de ces perspectives pourront être intégrées à la stratégie 2025-2028 du réseau Vigicrues et aux plans d’action quadriennaux liés à cette stratégie.

Il est à noter que le réseau Vigicrues travaille actuellement à la redéfinition de son réseau réglementaire pour la prévision et la vigilance crue. Cette évolution, vers une couverture totale du territoire d’ici 2030, introduit notamment la notion de niveaux de service. Dans le cadre de cette opération, il sera utile de faire évoluer la stratégie du réseau Vigicrues en matière de prévision des inondations pour proposer des productions adaptées aux différents niveaux de service.

4. REFERENCES

- Escudier A., Hans P.-H., Astier C. and Souldadié J.-L., 2016, Prévision des inondations : gestion de crise et partage de l’information des zones inondées, La Houille Blanche, 5
- Escudier A., Hans P.-H., Flamanc D. et Zuber F., 2023, L’impact de l’évolution des données topographiques dans la cartographie de l’aléa, Colloque SHF « Prévision des crues et des inondations – Avancées, valorisation et perspectives », Toulouse, à paraître



Colloque SHF “*Prévision des crues et des inondations – Avancées, valorisation et perspectives*”
Toulouse, 28-30 novembre 2023

Guittard J., 2018 Capitaliser les informations d’une crue en cours : Prises de vue par drones, Journées Prévision des Inondations des 3 et 4 octobre 2018

Piotte O. et al, 2015, Vers une gestion collaborative des recensements de repères de crues, Congrès SHF/AFEPTB : « Gestion des risques d’inondation », Paris

Zuber F. et al, 2022, Synthèse des travaux du groupe de travail validité des géométries, rapport interne