

Cartographie numérique interactive du risque d'inondation du Rhône - de l'étude de dangers au développement de la culture du risque

Interactive digital mapping of the Rhône flood risk from hazard studies to the development of a risk culture

T. Mallet¹, A. Darnaud¹, A. Castagnet¹, C. Dast¹, L. Jarmasson², T. Thierry²

¹ SYMADREM, Arles, France, symadrem@symadrem.fr

² Canopée, Arles, France, lionel.jarmasson@canopee.cc

Résumé

Depuis 2010, le SYMADREM réalise les études de dangers des systèmes d'endiguement fluviaux du grand delta du Rhône. Ces études se sont concrétisées en 2022 par la ré-autorisation de l'ensemble de ces systèmes au titre du décret digues de 2015 modifié. Conformément aux dispositions fixées par ce décret, le SYMADREM a procédé à l'information des autorités compétentes en matière de secours sur les niveaux de protection apportés par ces systèmes et sur les risques encourus, une fois ces niveaux dépassés (art. R214-116 CE).

Le SYMADREM a décidé d'aller au-delà de ces obligations réglementaires en mettant à disposition du public les résultats issus des études de dangers, sous une forme cartographique simplifiée et interactive. Cet outil numérique, construit à partir de données et de fonds de cartes très précis, permet à chaque habitant du grand delta, protégé par les digues du Rhône, de visualiser immédiatement et de comparer des résultats en fonction des critères sélectionnés par l'internaute. C'est une approche ergonomique et pédagogique (tout en restant très technique), qui permet de connaître à l'échelle d'un logement :

- les hauteurs d'eau atteintes par le Rhône, lors des inondations passées ;
- le niveau de protection pieds secs « garanti » par le SYMADREM, exprimé en débit du Rhône à la station vigicrue Beaucaire/Tarascon, située en tête du grand delta ;
- au-delà de ce niveau de protection, les hauteurs d'inondation probables à certaines, en fonction de ce même débit.

La cartographie interactive répond ainsi à deux objectifs : entretenir la mémoire des inondations passées et permettre aux habitants de mieux connaître leur exposition au risque actuel et favoriser ainsi le développement d'une véritable culture du risque à l'échelle du territoire. Les habitants peuvent également mesurer à l'échelle de leur habitation, le bénéfice des travaux réalisés dans le cadre du Plan Rhône ou le bénéfice attendu des travaux à venir dans les prochaines années.

L'article décrit les différentes étapes de construction de cette cartographie et conclut sur les apports de la réglementation 2015 dans la gestion intégrée du risque inondation et sur la nécessité de poursuivre ces évolutions.

Mots-clés

inondation, culture du risque, étude de dangers, interactif

Abstract

Since 2010, SYMADREM has been carrying out hazard studies on levees systems in the Rhône large delta. These studies have been achieved in 2022 with the re-authorisation of all these systems under the new regulation of 2015 about levees.

In accordance with the provisions of this decree, SYMADREM has informed the relevant emergency authorities of the levels of protection provided by these systems and of the risks incurred once these levels have been exceeded (art. R214-116 EC).

SYMADREM has decided to go beyond these regulatory obligations by making the results of the hazard studies available to the public in simplified, interactive map form. This digital tool, based on highly accurate data and maps, enables every resident of the large delta protected by the Rhone levees to immediately view and compare the results according to the criteria selected by the Internet user. It's an ergonomic and educational (though still highly technical) approach, providing information at the scale of a single home:

- the heights of water reached by the Rhône during past floods;
- the level of dry-foot protection "guaranteed" by SYMADREM, expressed in Rhône flow at the Beaucaire/Tarascon station located upstream of the large delta;
- beyond this level of protection, the probable flood heights, based on the same flow rate.

The interactive map thus meets two challenges: to keep alive the memory of past floods and to give residents a better understanding of their exposure to the current risk, thereby encouraging the development of a genuine risk culture throughout the region.

Residents will also be able to see, in their own homes, the benefits of the work carried out as part of the Rhône Plan and the expected benefits of the work to be carried out in the coming years. The article describes the various stages in the construction of this mapping and concludes with the contributions of the 2015 regulations to integrated flood risk management and the need to continue these developments.

Key Words

flooding, risk culture, hazard studies, interactive

Introduction

Le delta du Rhône couvre une superficie de 1 500 km². Ce territoire, qui a connu huit inondations majeures du Rhône depuis 1840, est protégé par trois systèmes d'endiguement fluviaux et un système d'endiguement maritime constitués respectivement de 240 km de digues fluviales et 50 km de digues maritimes. Ces systèmes ont été créés après les crues catastrophiques de 1840 et 1856 (périodes de retour > 100 ans) en lieu et place d'autres ouvrages encore plus anciens, dont certains remontent au XII^{ème} siècle. La population protégée par ces systèmes est estimée à 100 000 personnes (résidents permanents). Elle peut doubler, voire tripler en période estivale. Suite aux inondations du Rhône de décembre 2003, qui ont touché plus de 12 000 personnes et causé 700 millions d'euros de dommages, l'État et les régions ont engagé un vaste plan de lutte contre les inondations, intitulé « Plan Rhône ». Depuis 2008, 215 millions d'euros ont été investis sur les ouvrages de protection et plus de 150 millions d'euros sont programmés sur la période 2024-2028.

C'est dans ce contexte de forte exposition au risque d'inondation du Rhône et d'exposition croissante au risque de submersion marine que les intercommunalités du territoire ont décidé, fin 2019, de transférer leur compétence gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations (GEMAPI) au SYMADREM, qui est, depuis le 1^{er} janvier 2020, l'autorité "gémapienne" dans le grand delta du Rhône.

Contexte législatif et réglementaire

Cette compétence créée par la loi MAPTAM du 27 janvier 2014 a fait l'objet d'un décret "digues" en 2015 ainsi que d'un arrêté relatif aux études de dangers de système d'endiguement en 2017. Ces textes ont été modifiés en 2019. La GEMAPI n'a pas remis en cause le rôle des acteurs compétents pour la gestion de crise. Le maire et le préfet demeurent les seules autorités compétentes pour alerter la population.

Le maire est détenteur du pouvoir de police générale. Il est responsable, à ce titre, de l'alerte à la population en cas d'inondation ou de rupture de digues (article L2212-2 du CGCT). Si le maire n'agit pas, le préfet de département a un pouvoir de substitution et doit agir en lieu et place du maire (article L2215-1 CGCT). En cas de dépassement du périmètre communal, le préfet de département est le seul compétent pour prendre les mesures relatives à l'ordre, à la sûreté, à la sécurité et à la salubrité publiques (article L2215-1-3° du CGCT).

Si l'autorité "gémapienne" n'est pas compétente en matière de secours, elle a depuis le décret digues de 2015, les obligations suivantes (article R214-116 du code de l'environnement) :

- déterminer les niveaux de protection des zones protégées par les systèmes d'endiguement ; exprimés en débit (ou en cote) du Rhône à la station de Beaucaire/Tarascon ;
- alerter les autorités compétentes en matière de secours en cas de dépassement des niveaux de protection ;
- indiquer les dangers encourus par les personnes en cas de dépassement des niveaux de protection.

Atlas cartographique opérationnel à destination des autorités compétentes en matière de secours

C'est dans ce cadre que le SYMADREM a édité un atlas cartographique opérationnel, remis aux autorités concernées à l'été 2021. L'objectif a été de représenter de manière simple et facilement interprétable le risque d'inondation du Rhône sur le territoire en fonction de l'intensité de la crue.

Scénarios d'inondation pris en compte

L'atlas présente le fonctionnement, dans l'état actuel, des quatre systèmes d'endiguement fluviaux (Fig. 1) pour sept crues de périodes de retour respectivement de 5 ; 10 ; 20 ; 40 ; 80 ; 200 et 800/1000 ans [1]. Le fonctionnement de la plaine de Boulbon, protégée par les barrages latéraux de la CNR et dont l'inondation est commandée par le déversoir de Boulbon géré par le SYMADREM, a également été intégré dans cet atlas.

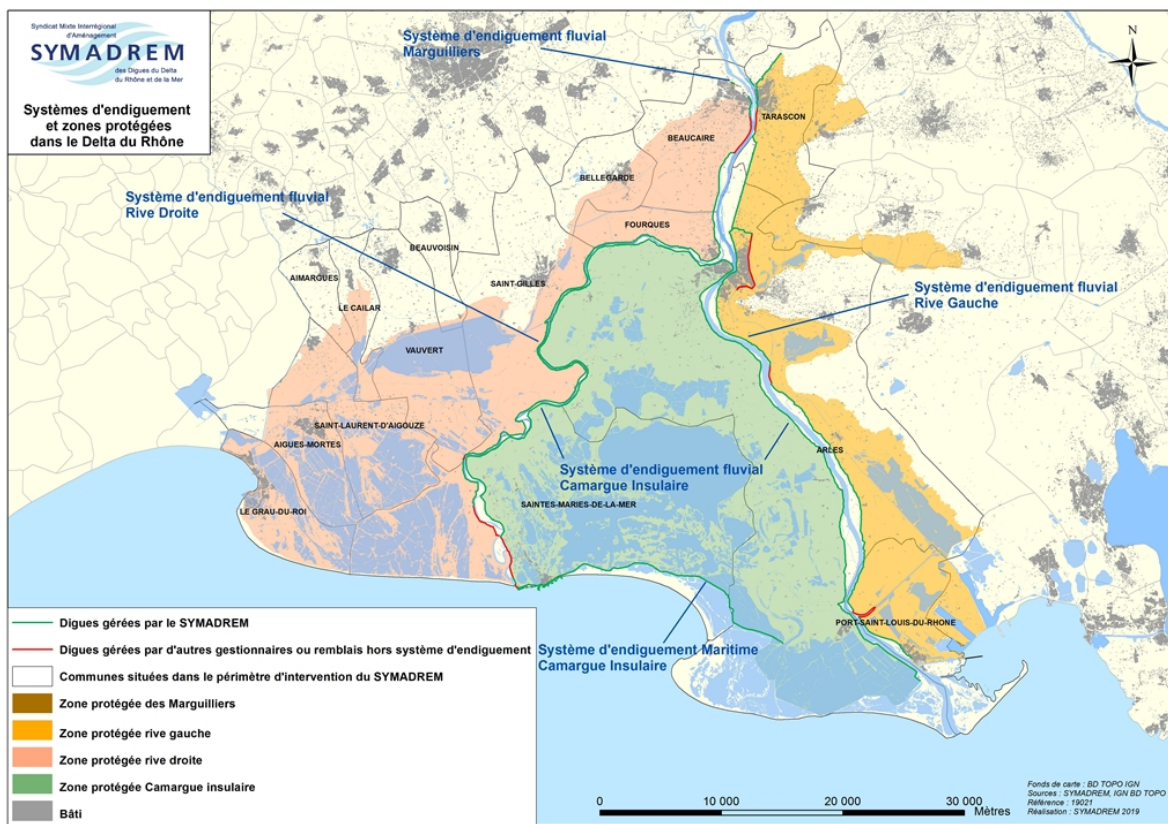


FIGURE 1. Systèmes d'endiguement dans le grand delta du Rhône.

Construit à partir de 100 scénarios d'inondation par brèche (avant et après surverse) et de 30 scénarios d'inondation sans brèche modélisés dans le cadre des études de dangers [3], l'atlas présente pour chacune des sept crues, quatre cartes intégratrices des scénarios d'inondation modélisés pour la crue considérée. Deux cartes illustrent le fonctionnement nominal des systèmes (scénario n°1 de l'arrêté EDD de 2017 modifié) et deux cartes, le fonctionnement, qualifié par le SYMADREM, de probable à certain (scénario n°3 de l'arrêté EDD de 2017 modifié).

Principe de construction des cartes opérationnelles

Le principe de construction de ces cartes opérationnelles a été le suivant. Les zones protégées relatives aux trois principaux systèmes d'endiguement (rive droite, Camargue insulaire, rive gauche) ont été découpées en respectivement 41 ; 41 et 29 sous-zones protégées cohérentes hydrauliquement entre elles. La zone protégée des marguilliers n'a, quant à elle, pas fait l'objet de sous découpage.

Pour les 130 simulations hydrauliques précitées, trois cotes d'inondation (en m NGF) C_5 , C_{50} et C_{95} ont été extraites des modèles pour chaque sous-zone protégée donnant respectivement les valeurs caractéristiques de non dépassement à 5 %, 50 % et 95 %. Une cote d'inondation caractéristique de la sous-zone protégée a été retenue à dire d'expert par intervalle de 25 cm, compte tenu des incertitudes entachant cette valeur.

En effet, l'analyse des nombreuses laisses d'inondation de 1840, 1856, 1993, 1994 et 2003 disponibles [4], du REX des modélisations hydrauliques [3], il en ressort qu'à l'exception des bandes de 1 000 m à proximité des digues, le fonctionnement hydraulique des sous-zones protégées du grand delta peut être assimilé à un remplissage en cascade de « réservoirs ».

L'influence du vent (Wind set-up et run-up) à dominante Nord ou Sud-Est joue également un rôle important et n'est pas pris en compte par les modèles fluviaux utilisés. Dans ces conditions, il a semblé illusoire de donner des cotes d'inondation avec une précision inférieure à 25 cm.

La synthèse des scénarios d'inondation par brèches et/ou par surverse retenus pour caractériser les scénarios n°1 et n°3 de l'arrêté EDD de 2017 modifié, qualifiés respectivement de fonctionnement nominal et de **fonctionnement probable à certain** des systèmes d'endiguement en périodes de crues a été conduite de la manière suivante. Conformément à la réglementation :

- si la probabilité de brèche du tronçon de digue est inférieure ou égale à 5 % (**50 % pour le fonctionnement probable à certain**), soit la crue est déversante et les entrées d'eau par surverse (surverse sans brèche) modélisées ont été prises en compte ; soit la crue n'est pas déversante et aucune entrée d'eau n'a été prise en compte.
- si la probabilité de brèche du tronçon de digue est supérieure à 5 % (**50 % pour le fonctionnement probable à certain**), les entrées d'eau par brèche modélisées ont été prises en compte, que le niveau du fleuve soit en dessous de la crête de digue (brèche avant surverse) ou au-dessus de la crête de digue (brèche après surverse).

Ce principe est illustré dans la figure ci-après pour le scénario n°3 précité (Fig. 2)

Les modélisations du scénario n°2 de l'arrêté EDD précité relatif aux défaillances fonctionnelles (absence de fermeture ou rupture des ouvrages traversants) n'ont pas été prises en compte vu le faible impact des volumes de déversement de ce mode de défaillance sur les zones protégées.

Pour chaque crue considérée et chaque type de fonctionnement, la cote retenue par sous-zone protégée correspond à la cote maximale des modélisations de brèche ou de surverse sans brèche retenues selon la règle précitée.

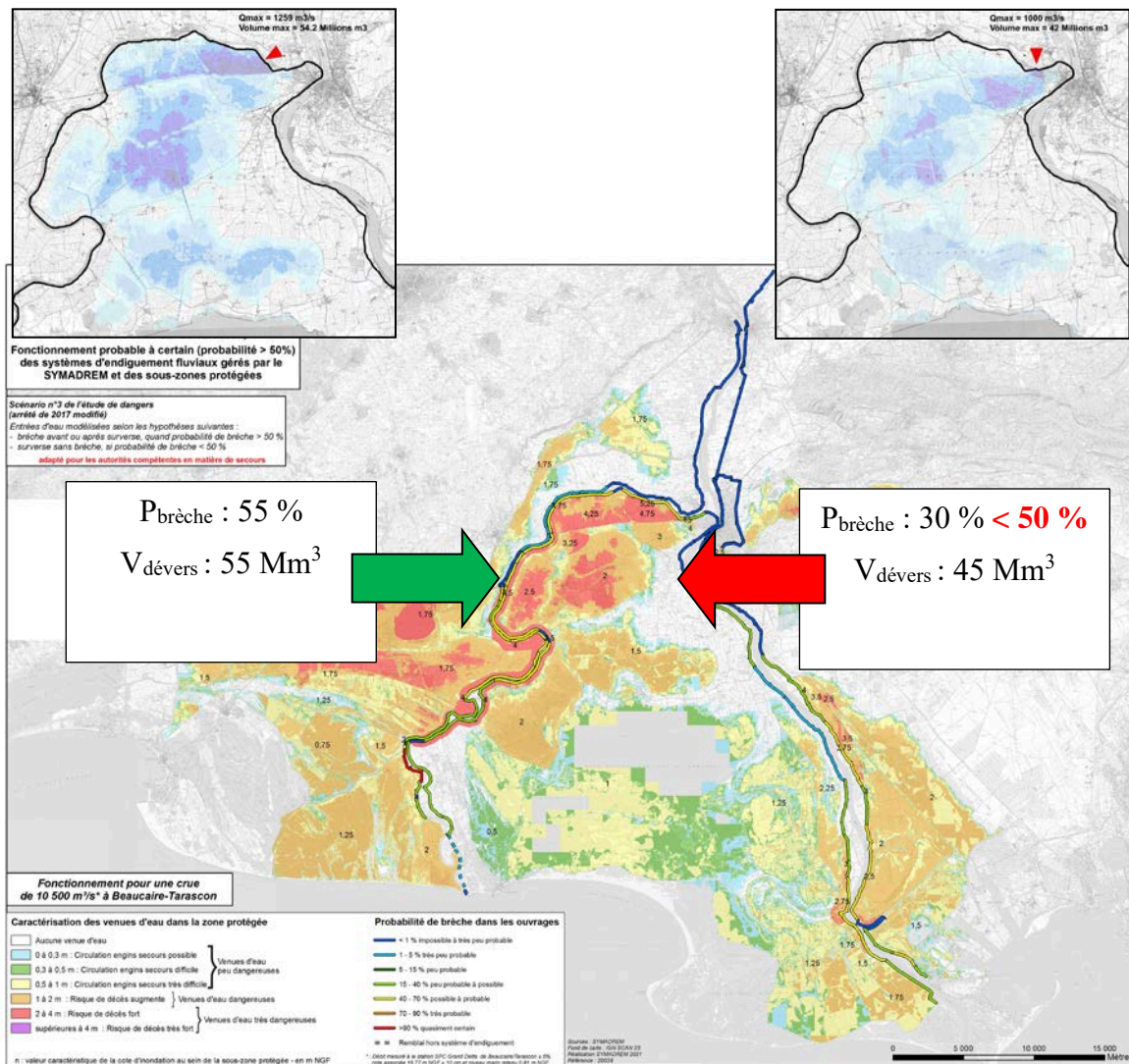


FIGURE 2. Scénarios d'inondation retenus et non retenus pour la carte relative au fonctionnement probable à certain pour une crue de 10 500 m³/s (T=40 ans)

Représentation de l'aléa inondation dans la zone protégée

Deux niveaux de représentation du danger dans la zone protégée ont été retenus : un niveau « basique » avec une couleur unique par sous-zones protégées pour distinguer les zones hors d'eau (et donc protégées pour la gamme de crue considérée) et les zones de venues d'eau avec leur qualification (peu dangereuses, dangereuses, très dangereuses) et la cote d'inondation caractéristique (en m NGF) par intervalle de 25 cm.

Le deuxième niveau de représentation illustre les hauteurs d'eau calculées par soustraction de la cote d'inondation précitée par la cote du modèle numérique de terrain de la RGE-Alti au pas de 5 m : <https://geoservices.ign.fr/rgealti>.

Les classes de hauteur d'eau figurant ci-après (Fig. 3) ont été construites avec le SDIS des Bouches-du-Rhône, qui a souhaité différencier les hauteurs d'eau inférieures à 1 mètre en fonction des conditions de circulation des véhicules de secours. Pour les hauteurs d'eau supérieures à

1 mètre, l'analyse conduite par Vinet F. *et al.* sur la mortalité humaine lors des inondations liées à tempête Xynthia et dans le Var en 2010 [5] a été adaptée au territoire. La qualification de la dangerosité des venues d'eau a été précisée au regard des valeurs réglementaires définies dans l'arrêté EDD de 2017 modifié.



FIGURE 3. Classe de hauteurs d'eau et qualification du danger - Arles Nord (© Ville d'Arles)

Retour sur l'appropriation des cartes opérationnelles par les autorités compétentes en matière de secours

Ces cartes, également destinées à la mise à jour des plans communaux de sauvegarde et des plans ORSEC, constituent un progrès sensible pour la gestion de crise puisque dorénavant l'ensemble des acteurs dispose d'une information unifiée sous l'égide de l'autorité « gémapienne ». Quelques limites sont néanmoins à souligner, la non prise en compte par l'État dans les plans ORSEC de nos cartes pour la crue de référence (les crues inférieures sont prises en compte). En effet conformément aux recommandations nationales ce sont les cartes de l'aléa PPRI qui ont été incluses dans le plan ORSEC. Dans le grand delta du Rhône, ce choix pourrait poser un problème opérationnel, puisque l'aléa PPRI a été construit principalement sur l'aléa observé lors des inondations catastrophiques de 1840 et 1856. Les travaux menés par le SYMADREM [2] ont réduit considérablement l'aléa en amont d'Arles puisqu'aujourd'hui seul demeure le risque de surverse sans brèche. L'aléa PPRI est donc très pénalisant par rapport aux niveaux de protection garantis. A contrario, certaines parties du territoire en aval d'Arles, dont l'inondation n'a pas été attestée en 1840 et 1856, sont qualifiées de pieds secs par le PPRI alors qu'elles sont qualifiées à risque important dans nos EDD.

Construction de la cartographie numérique interactive

Objectifs de la cartographie numérique interactive

Une fois ces cartes partagées avec les autorités compétentes en matière de secours, le SYMADREM a décidé d'aller au-delà de ces obligations réglementaires en mettant à disposition du public les résultats issus des études de dangers, sous une forme cartographique simplifiée et interactive. Cet outil numérique, construit à partir de données et de fonds de cartes très précis, permet à chaque habitant du grand delta, protégé par les digues du Rhône, de visualiser immédiatement son exposition au risque et de comparer des résultats en fonction des critères sélectionnés par l'internaute. C'est une approche ergonomique et pédagogique (tout en restant très technique), qui permet de connaître à l'échelle d'une habitation ou d'une entreprise :

- les cotes d'inondation (en m NGF) et hauteurs d'eau (en m) atteintes par le Rhône lors des inondations passées ;
- le niveau de protection pieds secs « garanti » par le SYMADREM, exprimé en débit du Rhône à la station vigicrue Beaucaire/Tarascon, située en tête du grand delta ;

- au-delà de ce niveau de protection, les cotes et hauteurs d'inondation probables à certaines, en fonction de ce même débit.

La cartographie interactive a deux objectifs :

- entretenir la mémoire des inondations passées ;
- permettre aux habitants de mieux connaître leur exposition au risque actuel ;

qui doivent favoriser le développement d'une véritable culture du risque à l'échelle du territoire. Les habitants peuvent également mesurer à l'échelle de leur habitation, le bénéfice des travaux réalisés dans le cadre du Plan Rhône ou le bénéfice attendu des travaux à venir dans les prochaines années. Elle est accessible depuis le site internet du SYMADREM à l'adresse suivante :

<https://cartographie.symadrem.fr/>

Une lettre spéciale donnant le mode d'emploi est également accessible à l'adresse suivante :

<https://www.symadrem.fr/wp-content/uploads/2022/11/Lettre-speciale.pdf>

Une version mobile a également été développée.

L'information au public s'est faite par la presse régionale et dans les bulletins municipaux des communes protégées.



FIGURE 4. Extraits journal la Provence et bulletin municipal Arles Info

Deux types d'accès sont disponibles : un accès à la cartographie des inondations historiques et un accès à la cartographie d'exposition au risque d'inondation actuel et futur.

Accès à la cartographie des inondations historiques

L'accès aux inondations historiques est illustré ci-dessous (Fig. 5). L'internaute peut taper son adresse (dans l'exemple : collège Morel à Arles) et cliquer sur une des six inondations historiques cartographiées (dans l'exemple : la crue de référence de mai 1856). La cartographie de l'ensemble du grand delta figure avec les classes de couleur correspondant aux hauteurs d'eau atteinte (Fig. 3). Des informations synthétiques sont données sur la crue (débit, durée, nombre de brèches et volume total de déversement. La cote du terrain naturel (en m NGF) correspondant à l'adresse

saisie est affichée avec la cote maximale d'inondation atteinte lors de l'inondation, ainsi que la hauteur d'eau correspondante. L'internaute peut donc rapidement connaître à l'échelle de son habitation les hauteurs d'eau atteinte au droit de son logement depuis 1840.

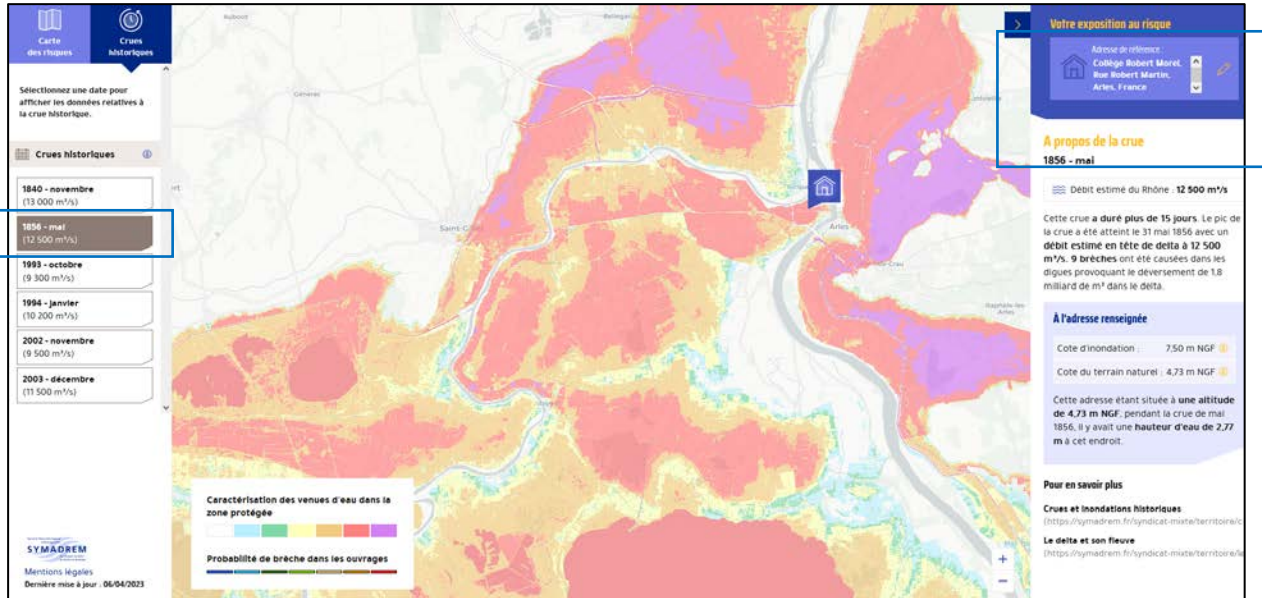


FIGURE 5. Cartographie des inondations historiques et informations propres à l'adresse saisie.

Accès à la cartographie des risques actuels et futurs

L'accès à la cartographie des risques actuels et futurs permet en fonction du débit du Rhône (fenêtre de gauche) d'accéder à la carte relative au fonctionnement probable à certain (probabilité > 50 %) issue du scénario n°3 de l'arrêté EDD précité pour la date souhaitée (2023, 2027 ou 2032).

La fenêtre de droite donne les informations suivantes :

- la cote définie dans le PPRI ;
- le niveau de protection défini à l'article R214-119-1 du code de l'environnement qui correspond au débit du Rhône jusqu'auquel le SYMADREM garantit qu'il n'y aura pas d'entrée d'eau en provenance des digues. Ce débit est donné avec un niveau de confiance supérieur à 95 %. Dans le cas du collège Morel Robert, pris comme exemple, le niveau de protection est de 9 500 m³/s. Cela signifie que pour ce débit et les débits inférieurs, le risque de venues d'eau est très faible et que les bâtiments sont garantis « pieds secs ». Au-delà, la protection du bâti, face au risque inondation du Rhône, n'est plus garantie. Néanmoins, l'encadré en bas à droite donne une hauteur probable de 0 m pour un débit de 10 500 m³/s, ce qui signifie qu'il y a plus de 50 % de chance qu'il n'y ait pas d'eau à cette adresse pour ce débit (la probabilité d'inondation est donc comprise entre 5 et 50 % pour cette gamme de crue).
- la cote d'inondation probable à certaine, issue du scénario n°3 de l'EDD ;
- La cote du terrain naturel à l'adresse saisie.
- Les cotes et hauteurs probables à certaines pour les sept crues considérées

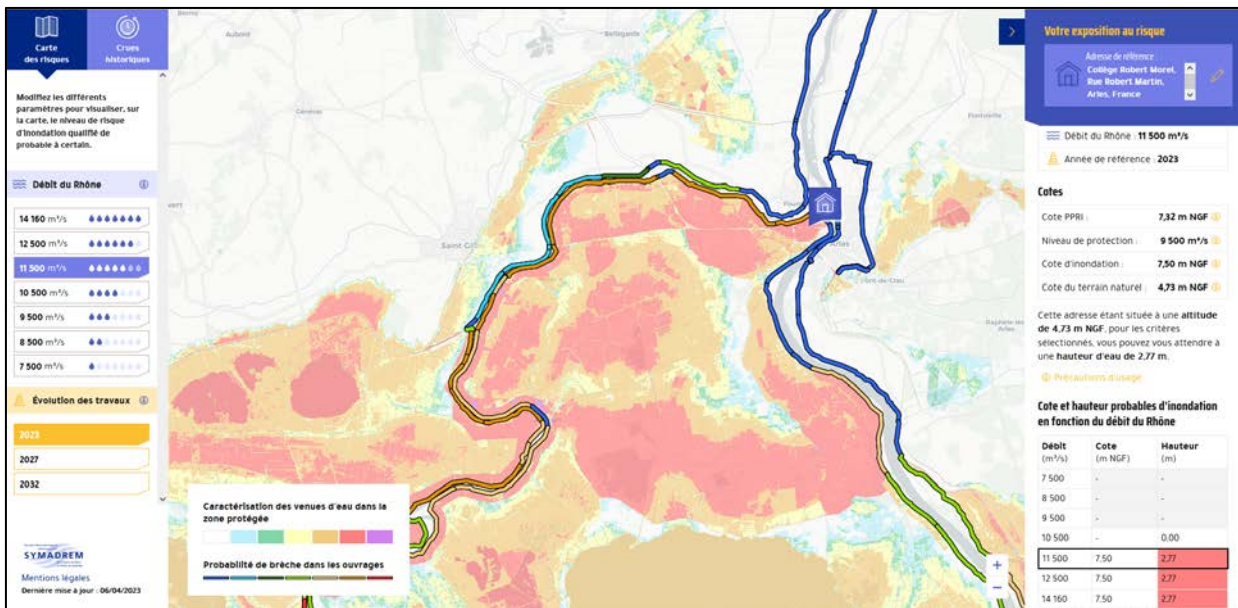


FIGURE 6. Cartographie du risque actuel (2023) et informations propres à l'adresse saisie.

En cliquant sur l'année 2027 (encadré en bas à gauche), l'internaute peut mesurer dans la fenêtre de droite et sur la carte, le gain lié aux travaux du plan Rhône [2] à l'échelle de son habitation et pour le territoire.

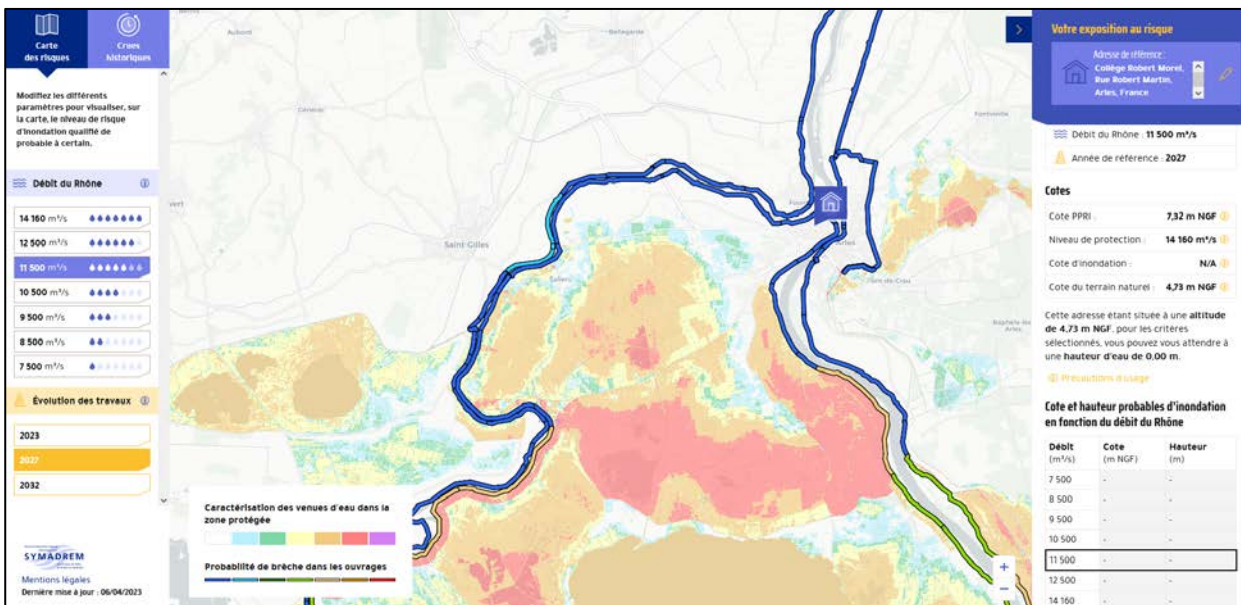


FIGURE 7. Cartographie du risque futur (2027) et informations propres à l'adresse saisie.

Conclusion

Les études de dangers des systèmes d'endiguement ont généré un nombre important de résultats qu'il a été nécessaire de synthétiser et de simplifier pour construire des cartes rapidement interprétables en situation de crue par les autorités compétentes en matière de secours. Ces cartes opérationnelles permettent désormais à tous les acteurs de la gestion de crise de disposer d'une cartographie unifiée. La seule limite réside dans la non prise en compte de nos cartes pour la crue de référence pour les raisons explicitées ci-avant. Ces contradictions montrent la nécessité de poursuivre l'évolution réglementaire pour connecter les études de dangers avec les plans ORSEC et les PPRI. La ré-intégration dans les textes réglementaires du scénario n°4 de l'arrêté EDD 2017 modifié en 2019 pourrait constituer une base intéressante pour une gestion intégrée du risque.

Le SYMADREM est allé au-delà de ces obligations réglementaires pour rendre ces cartes accessibles au public. Chaque habitant, chaque entreprise peut désormais visualiser à l'échelle de la parcelle son risque passé, son risque actuel et son risque futur. La cartographie numérique interactive devrait permettre le développement d'une culture du risque inédite à l'échelle du territoire. Depuis sa mise en ligne, on recense environ 240 visites mensuelles. Les premiers retours positifs viennent des chefs d'entreprise et des assurances qui disposent désormais d'informations complémentaires à celles du PPRI pour mieux négocier leur contrat d'assurance.

Références

- [1] DREAL AURA (2018). *Actualisation de l'hydrologie des crues du Rhône*, Hydro Consultant & Irstea.
- [2] Mallet T. (2012). *Programme de sécurisation des ouvrages de protection contre les crues du Rhône du barrage de Vallabrègues à la mer*, SYMADREM.
- [3] Mallet T. *et al.* (2019). *Études de dangers des systèmes d'endiguement fluviaux dans le delta du Rhône*, 3^e Colloque National sur les digues maritimes et fluviales de protection contre les inondations – Aix-en-Provence – IRSTEA
- [4] Mallet T. *et al.* (2019). *Accidentologie des digues du delta du Rhône de 1840 à nos jours*, 3^e Colloque National sur les digues maritimes et fluviales de protection contre les inondations – Aix-en-Provence – IRSTEA
- [5] Vinet F. *et al.* (2011). La mortalité comme expression de la vulnérabilité humaine face aux catastrophes naturelles : deux inondations récentes en France (Xynthia, Var, 2010) – *VetigO la revue électronique en sciences de l'environnement*, vol. 11 numéro 2.