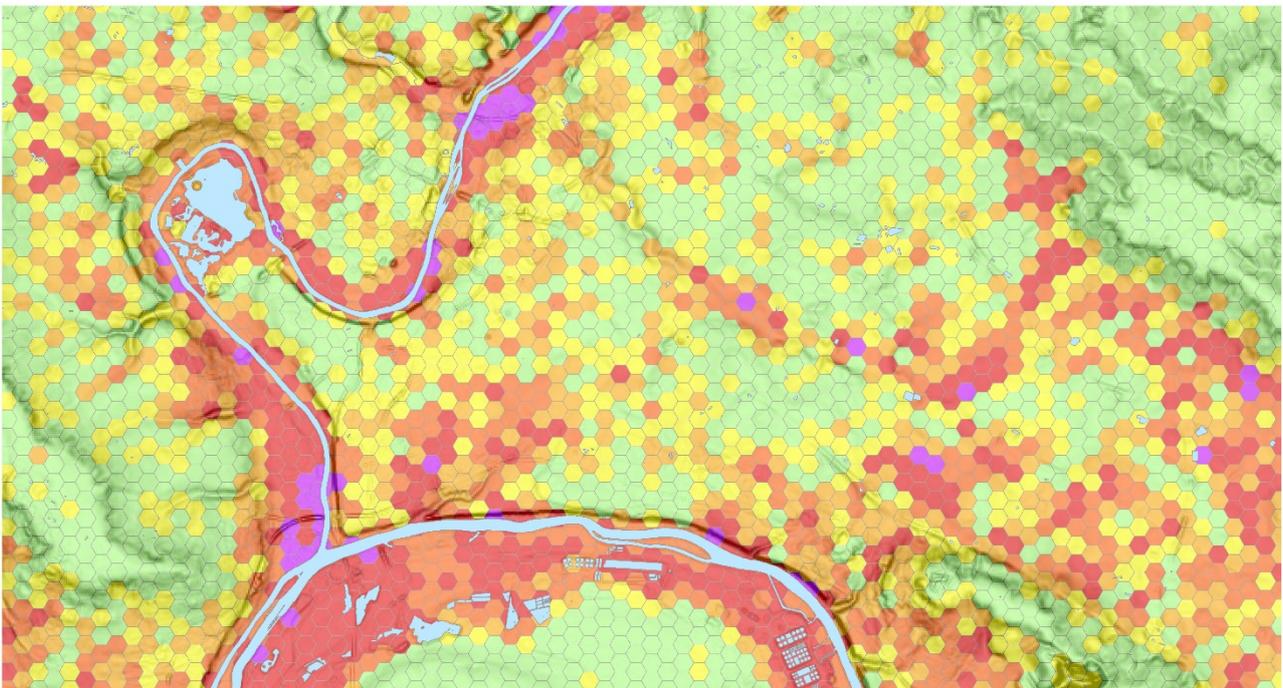




Cartographie de Synthèse de l'Impact des Inondations en France Métropolitaine

Note méthodologique



Décembre 2020

Depuis début 2020, la Caisse Centrale de Réassurance (CCR) étudie la faisabilité de la réalisation d'une cartographie de synthèse de l'impact des inondations en France. Cette cartographie se base sur les résultats du modèle probabiliste inondation CCR et sur les données géo-localisées de sinistralité historique liée aux inondations. L'étude, menée au sein de la direction des Réassurances et Fonds Publics a pour objectif de rendre accessible au public une carte synthétique de l'impact potentiel des inondations en France métropolitaine, basée sur le croisement d'indicateurs pertinents de mesure du risque.

La carte de synthèse de l'impact des inondations, mise en ligne sur le Portail CCR Cat Nat tout public catastrophes-naturelles.ccr.fr, propose une mesure qualitative de l'impact des phénomènes d'inondation sur le territoire métropolitain : débordement des principaux cours d'eau, ruissellement pluvial sur l'ensemble du réseau hydrographique, submersion marine sur le littoral et zone de sinistralité historique.

Cette nouvelle cartographie, utilisable et compréhensible par différents publics (particuliers, entreprises, collectivités territoriales, assureurs, services de l'Etat, ...) a été élaborée pour une diffusion plus large. Ces données numérisées consultables en ligne à une échelle infra-communale, participent ainsi aux politiques de prévention et au renforcement de la culture du risque inondation.

Ce document décrit la méthode adoptée pour produire la carte de synthèse, basée sur la superposition de données de modélisation et assurantielles, paramétrées et cartographiées sous SIG (Système d'Information Géographique). L'analyse multicritère conduite par CCR renseigne sur le niveau d'impact des inondations sur l'ensemble du territoire métropolitain de façon homogène.

Méthodologie d'élaboration de la carte de synthèse de l'impact des inondations

Une analyse multicritère nous permet de croiser les deux indicateurs suivants pour réaliser la carte de synthèse de l'impact des inondations :

1. Un indicateur de sinistralité réelle basé sur les sinistres historiques issus de la base de données CCR. Les sinistres localisés à l'adresse de 1995 à 2019 ont été étudiés en fonction de leurs coûts et fréquences.
2. Un indicateur de sinistralité potentielle calculé par le croisement :
 - d'un indicateur de fréquence de l'aléa inondations basé sur la modélisation probabiliste CCR des périodes de retour des inondations : débordement, ruissellement et submersion marine,
 - et d'un indicateur d'enjeux des territoires face aux inondations basé sur les données d'occupation du sol de « OSO Théia » à 10 m de résolution.

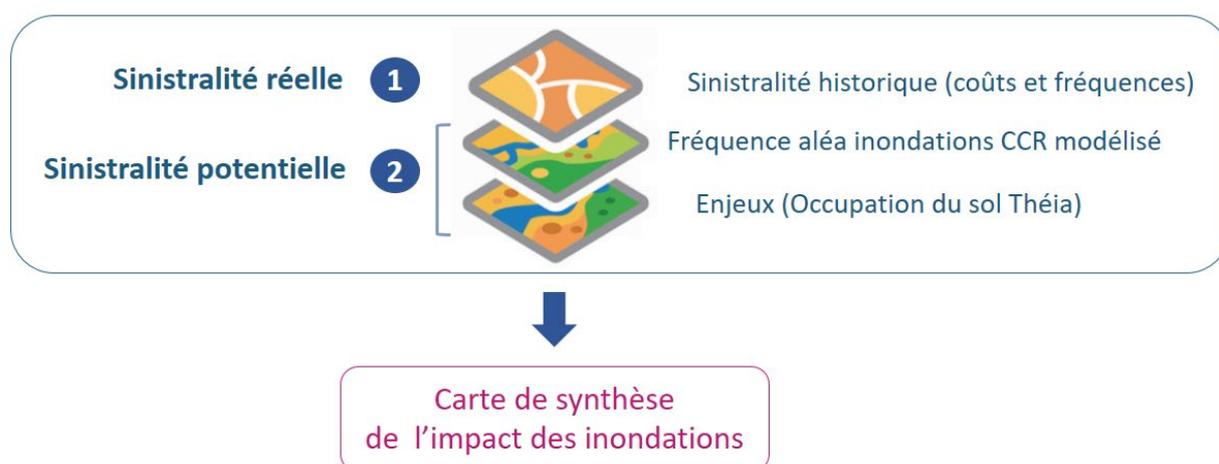


Figure 1 - Méthodologie d'élaboration de la carte de synthèse de l'impact des inondations

La superposition spatiale des scores propres à chaque indicateur, permet d'obtenir une somme correspondante au niveau de l'impact des inondations en tout point du territoire et de façon homogène (figure 1).

Vous trouverez ci-après le détail méthodologique pour le calcul de chaque indicateur.

1) Indicateur de sinistralité réelle

Les sinistres des bases de données CCR correspondent aux adresses impactées par un ou plusieurs événements inondation sur la période 1995 – 2019 pour des biens de particuliers et de professionnels assurés dans le cadre du régime des Catastrophes Naturelles. Ces données à l'adresse sont régulièrement envoyées par les assureurs dans un cadre strictement confidentiel. Elles sont retraitées par CCR pour être géocodées. Le

nombre d'événements survenus et le coût des dommages subis par le bien sont également connus pour chaque adresse sinistrée.

Cet indicateur a ainsi pu être paramétré sous SIG à partir de la localisation des adresses sinistrées, du nombre d'événement inondation survenus sur chaque adresse et du coût total du ou des sinistres (une adresse ayant pu être impactée une ou plusieurs fois par une inondation).

Un score de 1 à 6 est ensuite affecté en fonction du coût total et du nombre d'événements subis pour chaque bien sinistré (figure 2), comme schématisé sur la matrice de pondération de la figure 3.

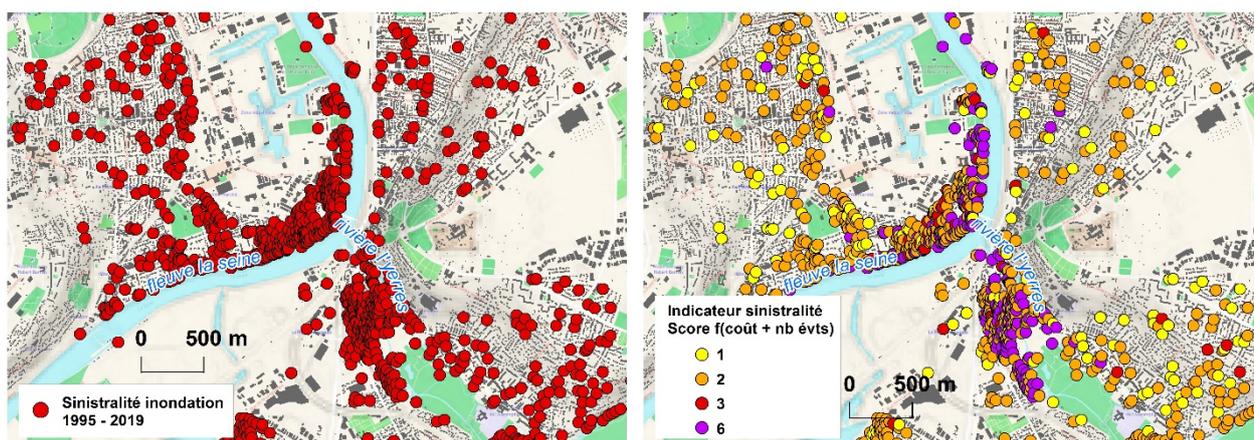


Figure 2 - (a) Localisation des adresses sinistrées de 1995 à 2019

(b) Attribution du score en fonction du nombre d'événements survenus et du coût de la sinistralité

Un bien ayant été impacté par un événement sur la période, pour une sinistralité inférieure à 1k€ obtient un score minimum de 1. A l'inverse, un bien ayant été impacté par plus de cinq événements pour une sinistralité totale de 10 à 1 200 k€ (coût maximum) obtient un score maximum de 6. Il est à noter qu'un poids significatif (score de 3) est attribué à partir de deux événements survenus sur le même bien, quel que soit le coût de la sinistralité. Pour des biens impactés par plus de 5 événements et quel que soit le coût de la sinistralité, le score attribué est de 6.

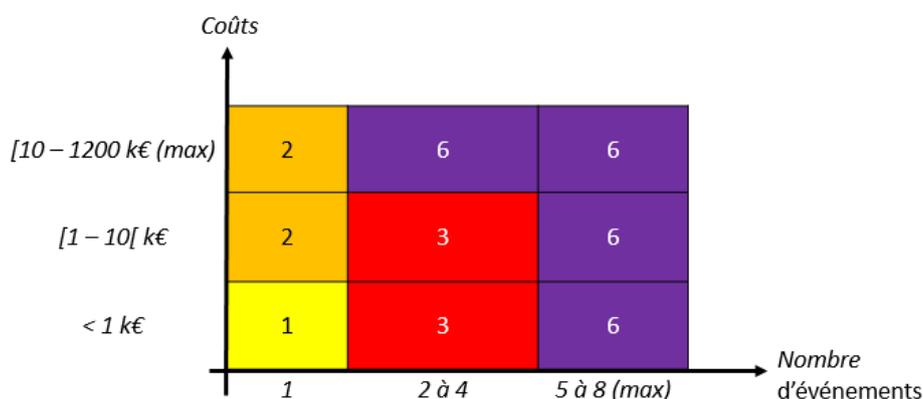


Figure 3 – Attribution du score basé sur la sinistralité inondation 1995 - 2019

Pour des raisons de confidentialité et afin de pouvoir être superposables aux autres indicateurs de l'analyse, les sinistres représentés sous forme de points géo-localisés ont été agrégés par une méthode d'analyse spatiale d'accumulation par voisinage de type statistiques de points, sous SIG.

L'outil « Statistiques de points » de la boîte à outil Spatial Analyst d'ArcGIS Pro (ESRI) permet d'effectuer une opération de voisinage qui calcule un raster (une grille) dans lequel la valeur de chaque cellule en sortie est fonction des valeurs des entités ponctuelles en entrée qui se trouvent dans le voisinage spécifié d'une fenêtre glissante. La fonction appliquée en entrée est une statistique. Dans notre cas nous avons choisi la moyenne de toutes les valeurs présentes dans ce voisinage. Ainsi, l'agrégation des sinistres a été effectuée en moyennant les scores de chaque point situé dans une fenêtre glissante circulaire d'un diamètre de 150m. Le résultat obtenu est restitué sur une grille de 25 m de résolution (figure 4).

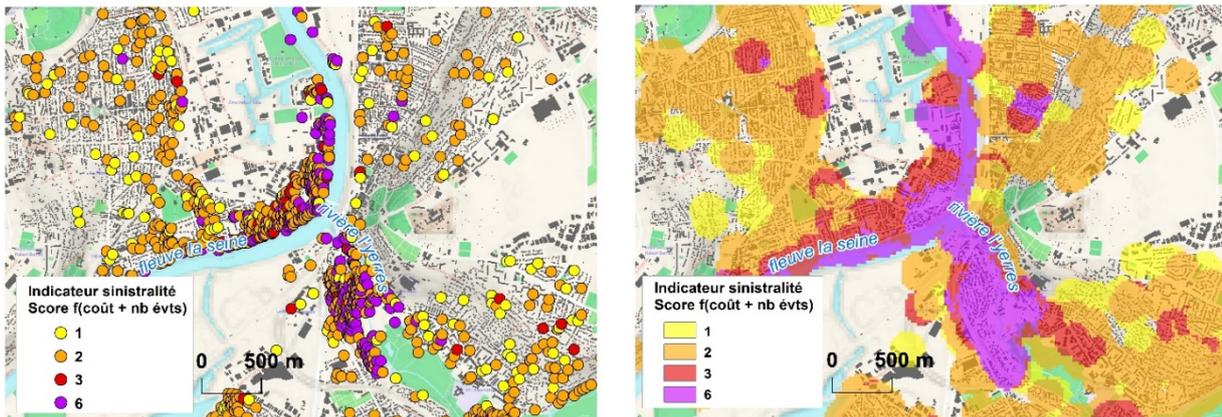


Figure 4 –(a) Données à l'adresse (b) Données agrégées pour la mise au point du second indicateur

2) Indicateur de sinistralité potentielle

a. Indicateur de fréquence de l'aléa inondation probabiliste CCR

La modélisation déterministe des inondations effectuée par CCR dans le cadre du régime des Catastrophes Naturelles permet d'estimer le coût des événements survenus en France métropolitaine pour tous types d'inondations (crue lentes, éclairs, cévenoles et submersion marine). Sur les départements impactés par l'événement, les cartes d'aléa sont produites par un modèle développé en interne : débordement (hauteurs d'eau en m), ruissellement (débits en m³/s) et submersion marine (hauteurs d'eau en m).

D'autre part, une modélisation probabiliste a été mise en place afin de mesurer l'exposition financière du marché de l'assurance et de l'Etat au péril inondation. La filière probabiliste du modèle repose sur une simulation de milliers d'événements fictifs. En sortie des simulations, la fréquence de survenance des inondations est cartographiée en périodes de retour de l'aléa, sur des mailles de 25x25 mètres pour l'ensemble du territoire métropolitain (figure 5). A titre d'exemple, un secteur concerné par l'aléa inondation pour une période de retour de 20 ans risque d'être inondé au moins une fois tous les 20 ans. Cela correspond à la classe cartographiée de la période de retour de l'aléa « < 20 ans ».

b. Indicateur des enjeux des territoires face aux inondations basé sur les données d'occupation du sol « OSO Théia »

Cet indicateur de sensibilité des territoires aux inondations est basé sur les données d'occupation du sol OSO (Centre d'Expertise Scientifique « Occupation des sols ») produites par le pôle Théia (CNES/CESBIO) en 2018. Elaborée à partir de données d'imagerie satellitaires optiques Sentinel-2 de l'ESA à 10m de résolution, cette cartographie de l'occupation des sols produite à partir de données d'imagerie est la plus précise disponible à ce jour à l'échelle de la France métropolitaine.

La figure 7 montre une comparaison entre les données issues de photographies aériennes à haute résolution de l'IGN et la carte OSO Théia 2018 pour toutes les classes d'occupation du sol disponibles (25 classes).

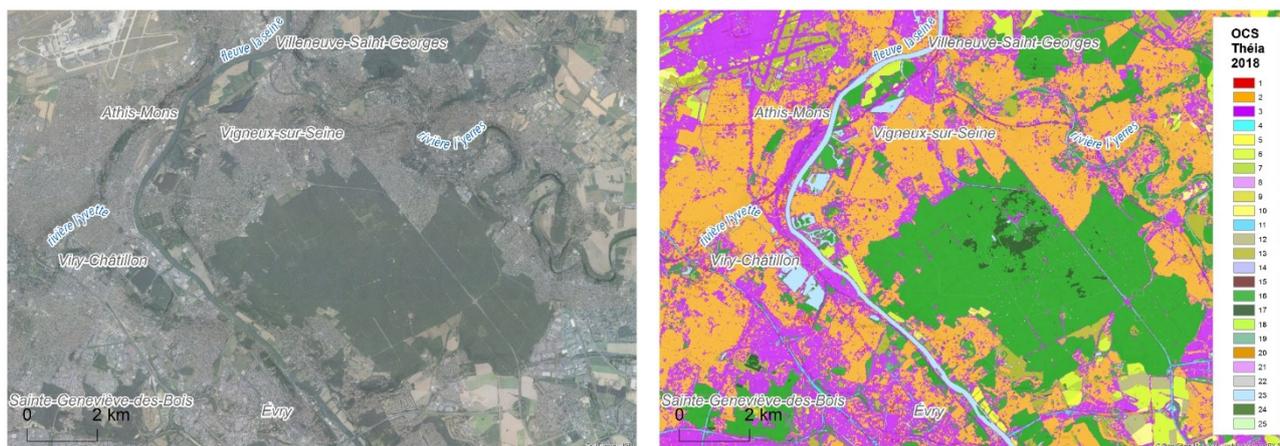


Figure 7 – (a) BD Ortho HR (IGN) (b) OSO Théia 2018 (25 classes d'occupation du sol)

Sur chacune des 25 classes un score prenant en compte la sensibilité des différents types d'occupation du sol aux inondations a été affecté. Cette méthode a été utilisée dans diverses études récentes traitant de la sensibilité des territoires face au péril inondation (J. Bailey Smith - USACE, 2015).

Pour les zones végétalisées (forêts, zones humides, espaces verts urbains, ...) qui diminuent l'impact des inondations et d'aucun enjeu assurantiel, un score négatif de -2 à -1 a été affecté. Les étendues d'eau et les prairies (ou zones d'extension naturelles des crues) sont considérées comme très peu ou pas sensibles aux inondations. Un score de 0 a donc été affecté pour ces types d'occupation du sol. A l'inverse, les dommages générés par les inondations sur les zones bâties (tissu urbain continu, sites industriels et commerciaux) peuvent avoir un impact très important. Un score maximum de 3 a été affecté sur ces secteurs à forts enjeux assantiels (figure 8).

| Légende OSO Théia | Score indice Enjeux |
|--|---------------------|
| Tissu urbain continu | 3 |
| Sites industriels et commerciaux | 3 |
| Tissu urbain discontinu | 2 |
| Réseaux de routes, chemins de fer et terrains associés | 2 |
| Décharges | 1 |
| Terres arables | 1 |
| Etendues d'eau | 0 |
| glaciers ou neiges | 0 |
| Végétation sclérophylle (ex : landes ligneuses) | 0 |
| Prairies | 0 |
| Zones forestières | -1 |
| Plages, dunes, terrains sablonneux | -1 |
| Espaces verts urbains / pelouses | -2 |
| Terres irriguées en permanence | -2 |
| Zones humides, marais | -2 |

Figure 8 – Quelques exemples des classes 25 classes d'occupation du sol : attribution du score pour l'indicateur enjeu (OSO Théia)

c. Indicateur de sinistralité potentielle : croisement des scores de l'indicateur d'enjeu et de l'indicateur de fréquence de l'aléa inondation CCR

La superposition des scores de l'indicateur d'enjeu OSO Théia avec les scores de l'indicateur basé sur la fréquence de l'aléa inondation CCR permet d'atténuer ou d'amplifier l'impact de l'aléa sur les différents types de territoires existants en France (figure 9).

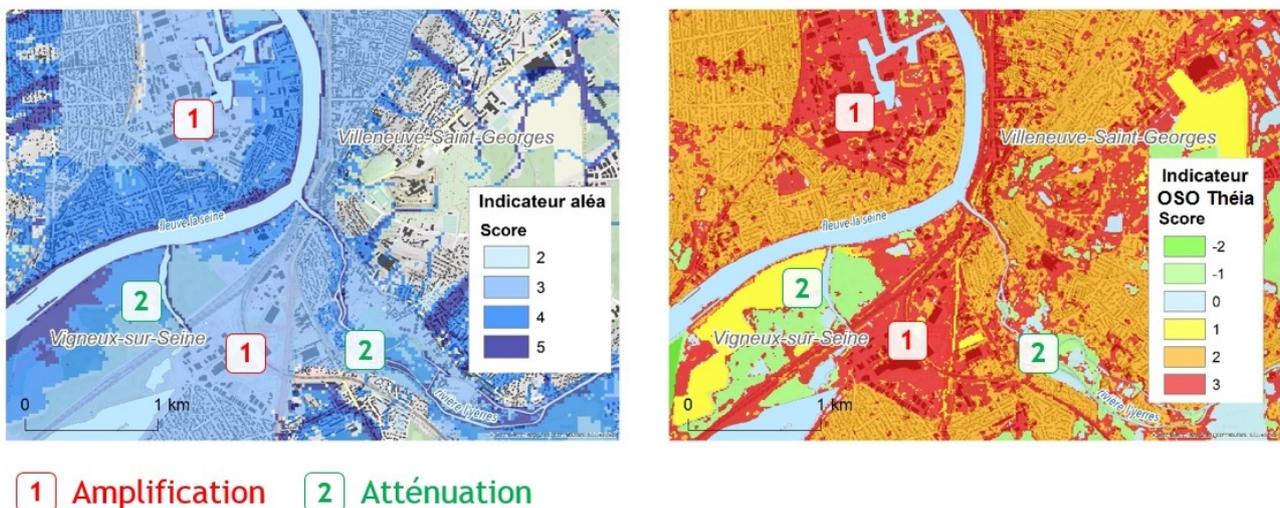


Figure 9 - Effet de l'indicateur OSO Théia sur l'amplification ou l'atténuation de l'aléa inondation

Comme le montre la figure 9, les scores de l'indicateur d'enjeu OSO Théia permettent d'amplifier l'impact de l'aléa inondation dans les secteurs les plus densément urbanisés ou industrialisés [1] et de l'atténuer dans les zones végétalisées et les espaces verts urbains [2]. L'impact des inondations est ainsi pondéré en fonction des différents types d'occupation du sol.

Cet indicateur est rééchantillonné à 25 m de résolution, afin de pouvoir être superposé à l'indicateur de sinistralité historique

3) Carte de synthèse de l'impact des inondations : superposition de l'indicateur de sinistralité historique et de l'indicateur de sinistralité potentielle :

La carte de synthèse résulte de la superposition des deux indicateurs présentés précédemment. L'analyse multicritère réalisée consiste à sommer les scores de chaque indicateur en tout point du territoire (pour chaque maille de 25 m). Cela permet d'obtenir une information sur l'impact des inondations sur l'ensemble du territoire métropolitain.

Ce résultat correspond à une reclassification du score « brut » (somme des scores des deux indicateurs). En sortie, six classes apparaissent. L'impact des inondations est caractérisé de très faible (1) à majeur (6) (figure 10).

Les surfaces en eau (eaux permanentes de la BD TOPO de l'IGN) apparaissent sur la carte mais n'ont pas été prises en compte dans l'analyse multicritère.

| Score brut | Score reclassé | Carte d'impact des inondations | Superficie en km ² | % du territoire |
|---|----------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| -2 à 1 | 1 | très faible | 3074 | 0,6% |
| 1 à 2 | 2 | faible | 5358 | 1,0% |
| 2 à 4 | 3 | modéré | 45740 | 8,3% |
| 4 à 6 | 4 | fort | 42377 | 7,7% |
| 6 à 8 | 5 | très fort | 8130 | 1,5% |
| 8 à 14 | 6 | majeur | 1012 | 0,2% |
| - | - | surfaces en eau | 8010 | 1,5% |
| Superficie totale carte d'impact | | | 105 691 km² | 19% |
| Superficie totale France | | | 548 499 km² | |

Figure 10 - Reclassification des scores sommés et légende de la carte d'impact à 25 m de résolution

La superficie totale de la carte d'impact des inondations est de 105 691 km², soit 19 % du territoire métropolitain. L'essentiel étant impacté pour des niveaux « modéré » et « fort » avec 88 117 km², soit 16 % du territoire. Quant au niveau d'impact « majeur », il représente 0,2 % du territoire (1012 km²). 0,2 % du territoire soumis à un impact majeur des phénomènes d'inondation peut paraître faible, cependant ce sont les espaces densément urbanisés et industrialisés qui restent les plus impactés par ce péril en métropole.

Si l'on se réfère aux données d'occupation du sol OSO Théia 2018 pour connaître la superficie des centres urbains et des zones industrielles et commerciales de métropole, on en relève 20 566 km² sur l'ensemble du territoire.

En fin de compte, selon l'analyse multicritère à 25 m de résolution, 5 % (1012 sur 20 566 km²) des espaces occupés par un tissu urbain dense et par des sites industriels et commerciaux sont soumis à un impact des inondations majeur.

La figure 11 présente le résultat de l'analyse sur l'une des boucles de la Seine en aval de Paris.

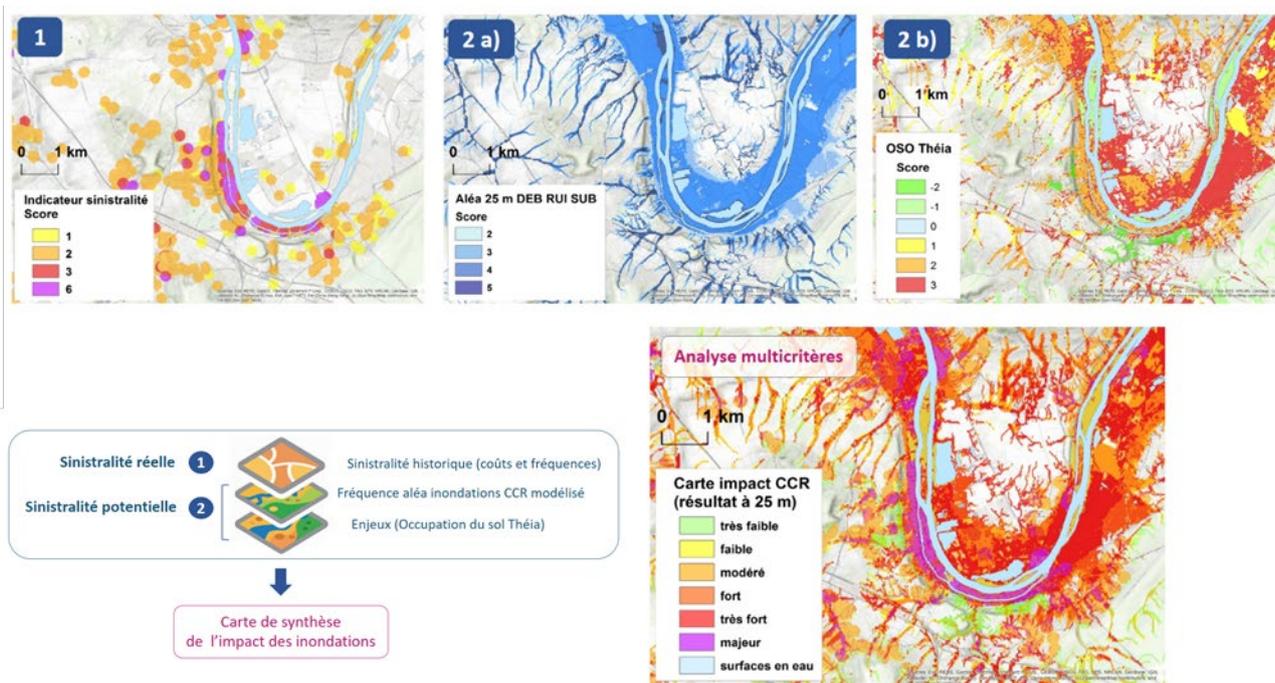


Figure 11 - Superposition des indicateurs et carte de synthèse de l'impact des inondations

4) Ré-échantillonnage du résultat à 25 m vers des grilles hexagonales à 250 m de résolution

Le résultat de l'analyse multicritère cartographié à 25 m de résolution est ensuite ré-échantillonné (tessellation) dans une grille à mailles hexagonales 62 500 m² (surface équivalente à un carré de 250m x 250m) pour des raisons de confidentialité et afin de pouvoir être diffusée à un large public.

Le maillage carré est le type de forme le plus couramment utilisé pour la représentation de divers phénomènes sous SIG, cependant les hexagones sont mieux adaptés à des analyses de ré-échantillonnage (Birch et al, 2007). En effet, les hexagones réduisent les déformations provoquées par les effets de bord inhérents à la forme d'une grille carrée, le rapport périmètre-surface de l'hexagone étant inférieur à celui d'un carré (figure 11).

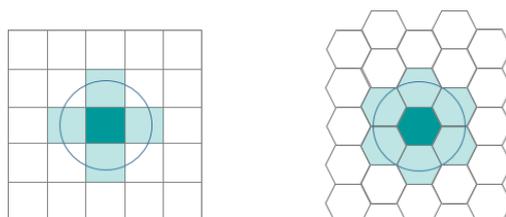


Figure 11 – Choix de mailles hexagonales pour le ré-échantillonnage du résultat à 250 m

Par rapport à des mailles carrées, les hexagones bénéficient donc d'une meilleure prise en compte des dynamiques spatiales existantes avant ré-échantillonnage.

Pour chaque maille de 25 m de la carte d'impact contenant un score de 1 à 6, chaque hexagone en sortie contient désormais la moyenne des scores des mailles de 25 m qui se trouvent dans l'emprise de l'hexagone (figure 12).

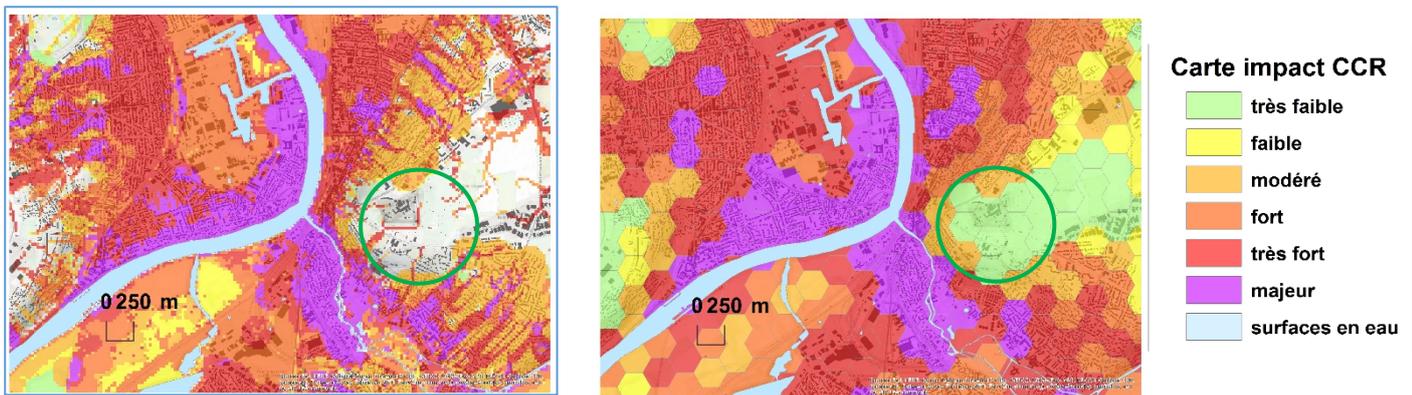
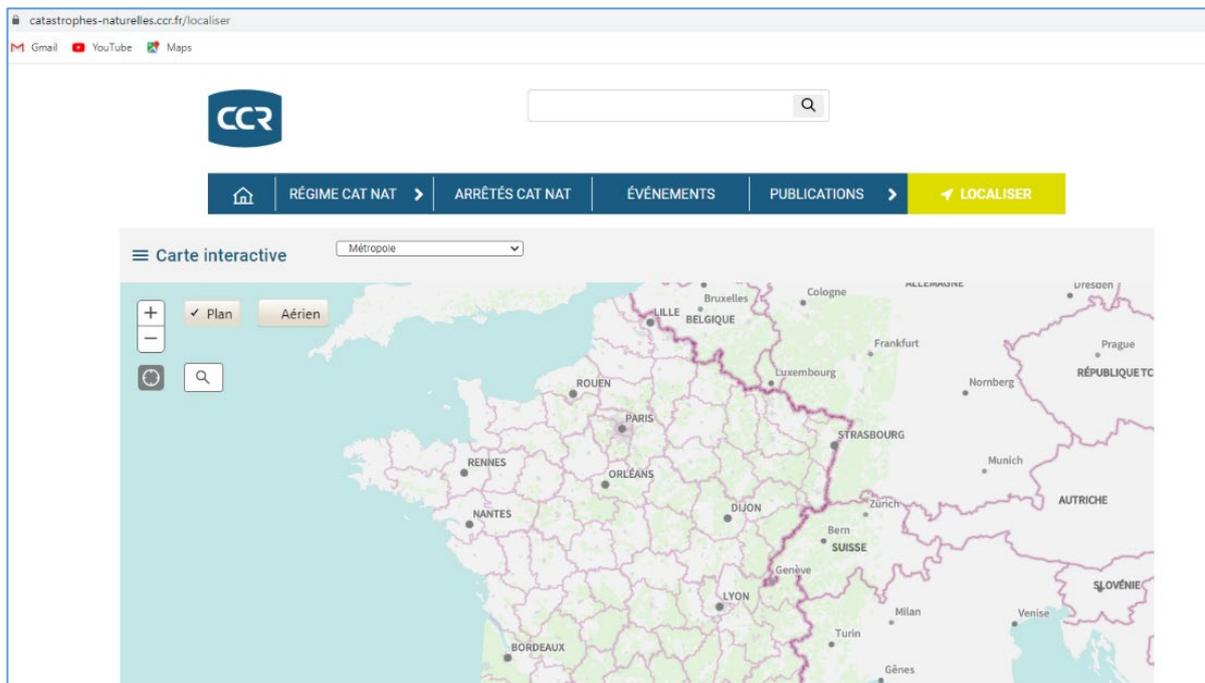


Figure 12 – (a) Résultat de la carte d'impact à 25 m (b) Résultat ré-échantillonné dans des hexagones à 250 m de résolution

Pour tous les hexagones au sein desquels les mailles de 25 m sont en majorité des valeurs nulles (score de 0), la moyenne produira le score le plus faible (score de 1). Cela peut s'observer sur la figure 12, à l'est du cours d'eau principal (cercle vert). Carte (a) : sur ce secteur, quelques mailles sont occupées par des scores de 4 à 5 (impact fort et très fort) et une majorité de mailles ont un score à 0 (impact nul). Sur ce même secteur, carte (b) : le résultat à 250 m (moyenne des scores pour chaque hexagone) est donc au score de minimum 1 (impact très faible). A noter que les surfaces en eau figurent uniquement à des fins d'habillage cartographique. Ces dernières n'ont pas été prise en compte dans le ré-échantillonnage, ni dans l'analyse multicritère (cf : figure 11).

Le résultat à 250 m de résolution sur l'ensemble du territoire métropolitain est disponible sur le portail CCR des Catastrophes Naturelles « catastrophes-naturelles.ccr.fr » au niveau de la carte interactive dans l'onglet « LOCALISER ».



Références bibliographiques

- J. Bailey Smith, 2015. [North Atlantic Coast Comprehensive Study: Resilient adaptation to increasing risk: Main report \(IV. RISK MANAGEMENT FRAMEWORK FOR VULNERABLE POPULATIONS\)](#). United States Army Corps of Engineers (USACE)
- NOAA, 2020. [Coastal Flood Exposure Mapper](#)
- D. Moncoulon et al, 2014. [Analysis of the French insurance market exposure to floods: a stochastic model combining river overflow and surface runoff](#). NHESS
- T. Onfroy, D. Moncoulon, L. Faytre, 2019. [Etude expérimentale sur le risque inondation dans le bassin versant de la Bièvre \(CCR – IAU\)](#). Cahiers de l'ONRN
- Esri, 2016. [Statistiques de points \(Spatial Analyst\)](#)
- J. Inglada, 2018. [Carte d'occupation des sols de la France métropolitaine](#). Pôle Théia (CNES/CESBIO)
- Esri, 2015. [Vue d'ensemble des outils de superposition](#)
- Birch et al, 2007. [Rectangular and hexagonal grids used for observation, experiment, and simulation in ecology](#). Ecological Modelling
- K. Smith, 2020. [Hexagonalizing the World](#). Medium
- J. Song, 2019. [What's New in Web AppBuilder](#). ArcGIS Blog

Thomas Onfroy (Département R&D Modélisation Cat & Agro)

Nathalie Orlhac (Département Data Science & Actuariat)