Plus que prévoir, anticiper

LA CRUE DE LA SEINE EN ÎLE-DE-FRANCE

Étude historique de la crue de 1910
& Modélisation de scénarios de référence

Service R&D modélisation
Département des Études Techniques
Direction Réassurances et Fonds Publics - CCR
Mars 2016

TABLE DES MATIÈRES

PARTIE I – LE DEROULEMENT DES ÉVÉNEMENTS EN 1910 6

La crue de 1910 dans l'histoire des inondations de Paris 6

Le contexte météorologique 8

Les conséquences sociétales 9

De la gestion de crise à la gestion des risques 12

PARTIE II – LA CRUE DE LA SEINE AUJOURD'HUI : MODÉLISATION ET DOMMAGES 17

Modélisation de l'aléa 17

Modélisation des dommages 19

Calibrage et validation du modèle 20

Résultats de modélisation 21

CONCLUSION 25

ANNEXES 26

BIBLIOGRAPHIE 28

En France, le régime d'indemnisation des catastrophes naturelles (ci-après régime Cat Nat), en vigueur depuis 1982, a connu un certain nombre d'évolutions, mais ses grands principes sont restés constants :

- un système reposant sur un partenariat public-privé ;
- un principe de solidarité entre les assurés quel que soit leur niveau d'exposition aux événements naturels ;
- une participation de l'Etat, par l'offre de sa garantie illimitée au régime Cat Nat, via la réassurance publique - non obligatoire - proposée par CCR ;
- un déclenchement de l'assurance Cat Nat pour des événements relativement fréquents, par exemple dès le seuil de période de retour décennal pour les inondations.

La loi du 13 juillet 1982 ne comporte pas de liste de périls couverts, elle n'indique pas non plus les périls exclus. L'article 1 de cette loi décrit seulement ce qui est considéré comme étant les effets d'une catastrophe naturelle, à savoir les "dommages matériels directs non assurables ayant eu pour cause déterminante l'intensité anormale d'un agent naturel".

Dans la pratique les périls entrant actuellement dans le champ d'application du régime sont les suivants :

- les inondations (ruissellement, débordement, remontée de nappe phréatique, rupture de barrage causée par un phénomène naturel),
- les coulées de boue,
- les séismes,
- les mouvements de terrain (y compris sécheresse),
- les affaissements de terrain dus à des cavités souterraines et à des marnières (sauf mines),
- les raz-de-marée,
- les avalanches,
- les vents cycloniques de grande ampleur (supérieurs à 145 km/h en moyenne sur 10 mn ou 215 km/h en rafales).

Cette liste n'est pas exhaustive.

La Caisse Centrale de Réassurance (CCR) est une société anonyme détenue par l'Etat français qui présente la particularité de proposer, avec la garantie de l'Etat, certaines couvertures illimitées pour des branches de l'assurance spécifiques du marché français, dont la réassurance des catastrophes naturelles.

La CCR a ainsi développé des outils de modélisation afin d'estimer le coût d'un événement quelques jours après sa survenance pour :

- Établir des provisions et réserves financières ;

- Informer son actionnaire (l'Etat) et les sociétés d'assurance qui se réassurent chez elle (les cédantes).

Cependant, l'analyse de l'exposition financière de l'Etat, de CCR, des sociétés d'assurance et des assurés n'est pas exhaustive si l'on étudie uniquement les événements historiques récents couverts par le régime Cat Nat. Parmi les événements historiques les plus marquants, la crue survenue en janvier 1910 à Paris sert souvent de référence. L'événement concerne la région la plus peuplée de France (environ 18,8% de la population vit en Ile-de-France) mais également la région la plus industrielle (environ 22% des valeurs assurées des risques professionnels sont situés en Ile de France).

Ce rapport constitue une mise à jour de l'étude initiale, réalisée par CCR en 2014, à l'occasion de l'exercice EU Sequana 2016 organisé du 7 au 18 mars 2016[1]. À l'aide de ses outils de modélisation, CCR fournit une évaluation du montant des dommages pour deux scénarios. Retenu pour l'exercice EU Sequana 2016, le **scénario 1 (S1)** est le plus extrême avec un débit de 115% par rapport à celui de janvier 1910 qui se traduirait par une hauteur de 9,11 m au pont d'Austerlitz (S1). Le **scénario 2 (S2)** correspond au débit de janvier 1910 et à une hauteur d'eau de 8,15 m au pont d'Austerlitz.

Cette étude s'articule autour de deux parties : la première est consacrée à l'inondation de janvier 1910 en revenant sur le contexte météorologique à l'origine de la crue et les conséquences sur les populations et l'économie. La seconde partie de ce rapport est consacrée aux résultats de simulation des différents scénarios à l'aide du modèle inondations développé par CCR permettant de saisir les conséquences financières sur les biens assurés[2].

---

[1] Plus d'informations : http://www.prefecturedepolice.interieur.gouv.fr/Sequana/EU-Sequana-2016

[2] MONCOULON D., LABAT D., ARDON J., LEBLOIS E., ONFROY T., POULARD C., AJI S., REMY A., QUANTIN A., « Analysis of French insurance market exposure to floods : a stochastic model combining river overflow and surface runoff », Natural Hazard and Earth System Science, 14, 2014, p. 1469-1485

PARTIE I – LE DEROULEMENT DES ÉVÉNEMENTS EN 1910

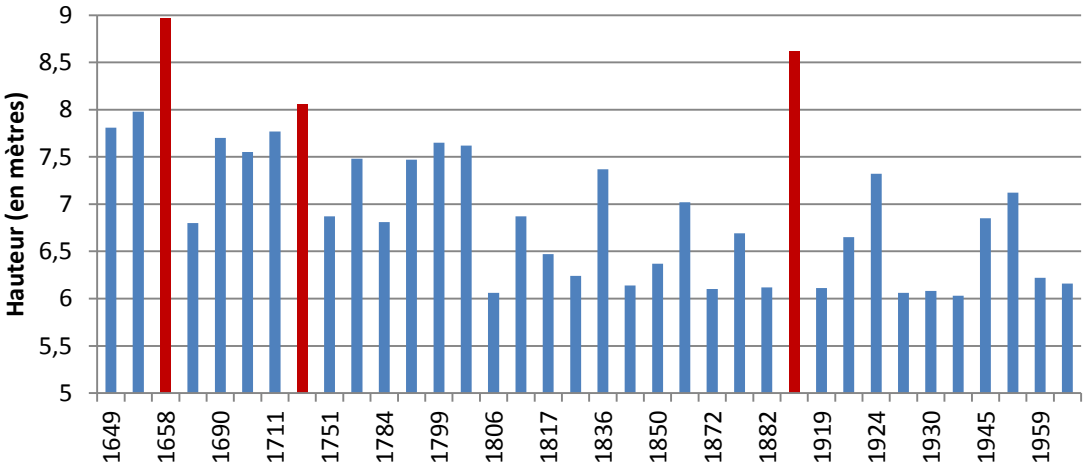
Après un hiver particulièrement humide, la hausse du niveau de la Seine au printemps 2013 a réveillé les craintes d'une inondation majeure. Cette crue a relancé la question de la vulnérabilité de la région Île-de-France. Plus de cent ans après 1910 et plus de dix ans après la dernière grande crue de la Seine en 2001 (5,21 mètres au pont d'Austerlitz le 24 mars), la perspective d'un événement majeur sur la Seine incite les autorités et les différents acteurs du risque à prendre la mesure de ses conséquences potentielles.

Au début du XXe siècle, Paris est une des principales places mondiales. L'exposition universelle de 1900 l'a consacrée comme une capitale du progrès industriel et technologique. Ainsi, à bien des égards, la crue de 1910 peut être considérée comme l'une des premières inondations qui va mettre sérieusement à l'épreuve la résilience de cette agglomération. Elle illustre également les conséquences du développement des sociétés sur l'exposition des enjeux.

La crue de 1910 dans l'histoire des inondations de Paris

Paris a connu de nombreuses grandes inondations. Parmi elles, on recense 36 crues dites majeures, c'est-à-dire supérieure à 6 mètres au pont d'Austerlitz, soit une tous les 10 ans depuis la grande crue de 1649. 16 dépassent les 7 mètres et sont dites exceptionnelles (Figure 1). Enfin, trois inondations ont dépassé les 8 mètres, la crue de janvier 1658, celle de 1740 et celle de 1910.

FIGURE 1 : LES CRUES MAJEURES DE LA SEINE À PARIS DEPUIS LE XVIIE SIÈCLE



La crue de 1658 résulte d'un hiver particulièrement rigoureux marqué par d'importantes chutes de neige et une période de gel prolongé qui paralyse la Seine. La crue débute avec le dégel du fleuve le 18 février. Le 27 février, la crue est à son maximum avec une hauteur équivalente à 8,96 m au pont d'Austerlitz. Parmi les dommages les plus significatifs figure la destruction de deux piles du Pont-Marie, alors couvert de maisons, qui relie l'Île Saint-Louis au reste de l'agglomération.

L'inondation de décembre 1740 est assez bien connue grâce aux travaux de l'architecte et membre de l'Académie royale des sciences Philippe Buache qui réalisa une cartographie précise de l'emprise de l'évènement[3]. Cette crue vient conclure un épisode particulièrement pluvieux et les parisiens subissent les inondations le jour de Noël 1740.

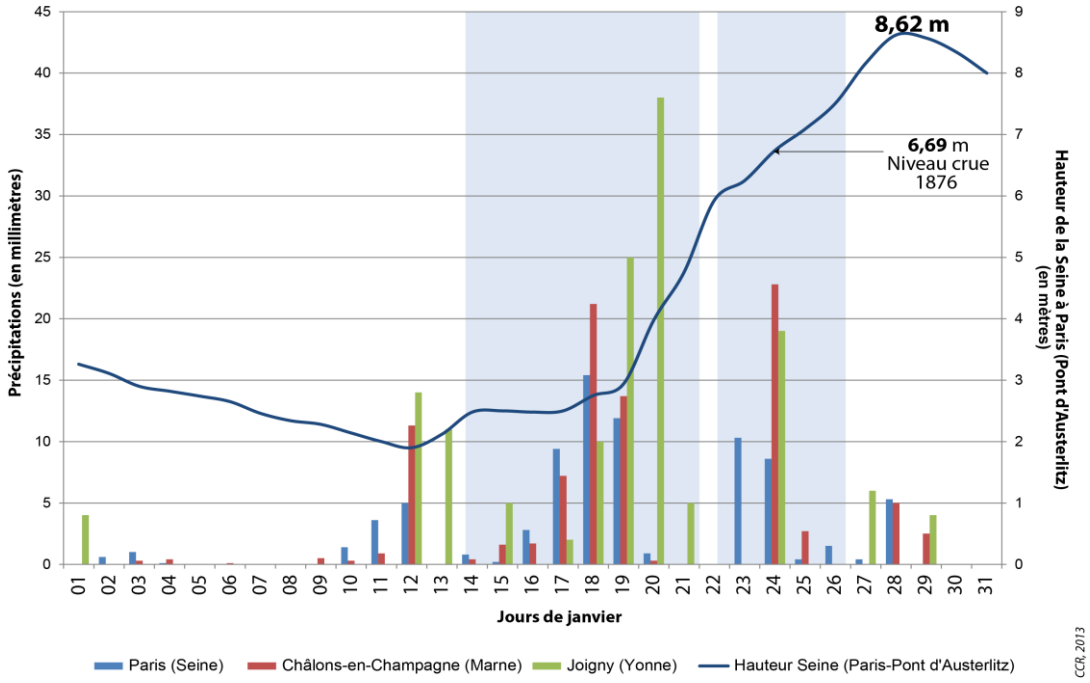
La crue de janvier 1910 intervient 28 ans après la dernière crue majeure (6,12 m en 1882) et presque 50 ans après la dernière crue exceptionnelle (7,02 m en 1861). Elle s'inscrit dans une période marquée par de nombreuses inondations. En effet, à la crue de la Seine, il convient d'ajouter celle du Rhône et du Rhin qui se produisent au même moment. En juin, une nouvelle inondation du Rhin touche l'est de la France et l'année se termine avec une crue de la partie moyenne de la Loire en décembre.

[3] BUACHE P., « Observations sur l'étendue et la hauteur de l'inondation de décembre 1740 », *Histoire et Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*, Année 1742, p. 336

Le contexte météorologique

L'inondation de janvier 1910 résulte d'une crue lente consécutive aux abondantes précipitations de la fin de l'année 1909 et du tout début d'année 1910. L'année précédente a été particulièrement humide avec 96 mm d'eau relevés à l'Observatoire de Montsouris pour juillet, 105 mm relevés en octobre. Ainsi les 240 mm d'eau cumulés pour le dernier trimestre 1909 dépassent les 170 mm de la moyenne de la période 1901-2001. Cette situation analogue pour l'ensemble des bassins versants de l'Yonne, de la Marne, c'est à dire de la Seine et de ses affluents va entrainer une forte saturation des sols en eau, au début de l'hiver. La nouvelle dégradation dans le courant du mois de janvier va donc avoir rapidement des conséquences sur le régime des cours d'eau. Les observations des stations de Paris, Châlons-en-Champagne et Joigny suggèrent l'importance de ces nouvelles précipitations (Figure 2).

FIGURE 2 : PRÉCIPITATIONS EN JANVIER 1910 (SOURCE : BUREAU CENTRAL DE MÉTÉOROLOGIE)



Entre le 15 et le 20 janvier un épisode pluvieux touche une grande partie de l'Ile-de-France. Les précipitations cumulées lors de cette période sont de 40,6 mm pour Paris, 45,7 mm pour Châlons-en-Champagne et 80 mm pour Joigny. Un second épisode moins important se manifeste du 23 au 29 janvier avec cette fois d'importantes chutes de neige. Les premières alarmes se font jour le 22 janvier 1910 où la Seine atteint au pont de la Tournelle son niveau de 1882 (5,79 mètres). Alors que le fleuve continue de gonfler, la rumeur de la destruction du pont de l'Alma pour éviter l'embâcle se répand

dans la capitale. L'eau continue de monter inexorablement pour atteindre 8,62 mètres au pont d'Austerlitz le 28 janvier 1910 à midi[4]. Cette crue dépasse ainsi le niveau de celle de 1876 de près de deux mètres.

Les conséquences sociétales

Le Paris d'aujourd'hui n'a plus grand-chose à voir avec celui de 1910. Pour autant, l'analyse des dommages de la crue de janvier 1910 fournit un exemple de l'étendue et de l'enchainement des dommages et des dysfonctionnements. Ainsi, l'inondation de 1910 a touché 20 000 immeubles impactant directement 200 000 personnes[5]. Au fur et à mesure de l'augmentation du niveau de la Seine, les dommages se sont amplifiés allant de l'interruption des communications à la destruction des maisons[6].

COMMUNICATIONS ET ÉNERGIES

Les communications sont les premières victimes de la montée des eaux. L'importance du transport fluvial à l'époque fait de la Seine une des principales artères du réseau parisien. Dès le 23 janvier, les ports de Tolbiac, Grenelle et Passy sont impraticables. Les différentes compagnies sont alors dans l'obligation de licencier leur personnel. Durant 45 jours, l'activité est paralysée. Outre le télégraphe, le téléphone est également touché et le nombre d'abonnés rencontrant des difficultés s'accroît tout au long de l'inondation. Le 23 janvier, 2 653 abonnés sur les 46 345 que compte la capitale sont privés de téléphone. Le 28 janvier, ils sont 12 509 soit 27% des utilisateurs. Trois jours après, ils sont 14 705.

L'exploitation du métro a subi également les conséquences de la montée des eaux. La ligne 6 (entre Nation et Place d'Italie) a vu son fonctionnement altéré dès le 22 janvier. Le 25 janvier, les perturbations sont encore plus considérables puisque les lignes 1, 3, 4 et 5 sont partiellement arrêtées. De plus, les travaux sur la ligne 12 qui traverse la Seine ont dû être suspendus. À cela s'ajoute, la paralysie des autres réseaux comme le tramway et le train. Toute connexion ferroviaire depuis Paris vers la banlieue est alors

---

[4] NOUAILHAC-PIOCH, *Monographie de la crue de janvier-février-mars 1910*, Commission des inondations, 1910, 94 p.

[5] SCHNEIDER M., « Caractérisation météorologique de la crue de 1910 en région parisienne », *La Météorologie*, n°28, décembre 1999, p. 36

[6] Voir Annexe 2

presque impossible. Le 26, la gare Saint-Lazare se trouve prisonnière des eaux interrompant tous les trajets.

Les dysfonctionnements du métro résultent aussi des nombreuses coupures des réseaux d'alimentation d'énergie. En effet, les usines électriques ont été soit arrêtées (Boulevard Richard-Lenoir, entrepôts de Bercy et Palais Royal à Paris mais également à Saint-Ouen, Asnières, Issy-les-Moulineaux), soit ont connu des interruptions qui ont affecté leur fonctionnement (à Puteaux, Saint-Denis, Levallois-Perret). Celle de Saint-Ouen a été arrêtée à partir du 22 janvier. Les différents pompages ont permis à l'activité de redémarrer cinq jours plus tard. Celle d'Asnières a été arrêtée du 28 janvier au 5 février.

Les usines à gaz de houille nécessaires à l'éclairage de Paris ont connu de nombreuses défaillances. Sur les neufs qui sont en services en janvier 1910 (Usine de la Vilette, Passy, Vaugirard, Ivry, Saint-Mandé, Boulogne, Alfort, Clichy, le Landy), seules celles d'Alfort et de Passy ont été totalement paralysées en raison de l'inondation des bâtiments[7]. En revanche, toutes ont subi les conséquences de l'arrêt de la navigation à compter du 23 janvier avec les difficultés d'approvisionnement en houille. À ces dommages, il faut ajouter aussi les différentes ruptures de canalisation de gaz. Au total, les eaux ont envahi 120 kilomètres de conduites de gaz soit 7% du réseau de l'époque[8].

LES HABITATIONS

Sur l'ensemble du département de la Seine (réparti aujourd'hui entre Paris, le Val-de-Marne, les Hauts-de-Seine et la Seine-Saint-Denis), 15 600 maisons et 20 000 immeubles sont inondées et 400 pavillons se sont effondrés[9]. Les données collectées pour les communes franciliennes soulignent les disparités locales en termes de dommages occasionnés aux maisons et usines (Figure 3).

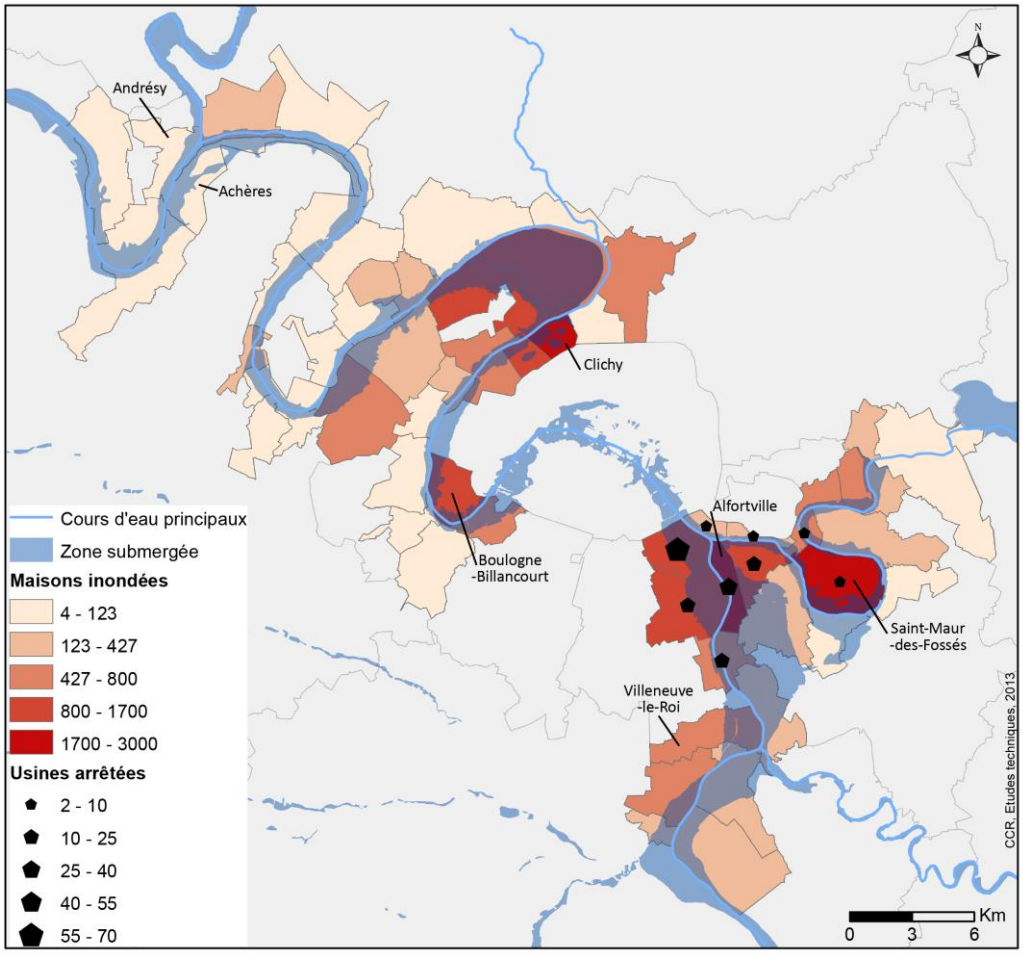
---

[7] BOREUX M., *La distribution du gaz d'éclairage à Paris »*, Rapport à la commission des inondations, 1910.

[8] *Ibidem*

[9] AMBROISE-RENDU M., « 1910 : La Seine en crue paralyse la capitale », *La Houille Blanche*, n°8, 1997, p. 41-44 ; MARTI R., LEPELLETTIER T., « L'hydrologie de la crue de 1910 et autres grandes crues du bassin de la Seine », *La Houille Blanche*, n°8, 1997, p. 33-39

FIGURE 3 : DOMMAGES OCCASIONNÉS EN ÎLE-DE-FRANCE PAR L'INONDATION DE JANVIER 1910



En amont de Paris, les communes les plus sinistrées sont Saint-Maur-des-Fossés avec 3000 maisons puis Alfortville avec 2 679. Pour cette dernière, la presque totalité de la commune se trouve submergée par les eaux de la Seine. En aval, les communes de Clichy et de Boulogne-Billancourt sont les plus durement touchées avec 2 130 et 1 700 maisons touchées.

Selon le rapport réalisé par l'inspecteur général des Ponts-et-Chaussées Alexandre, dans plusieurs communes, la totalité des maisons inondées ont dû être évacuées[10]. Ainsi à Achères, Andrésy ou encore à Villeneuve-le-Roi, ce sont 500 maisons qui sont désertées. Cependant, elles n'ont pas toutes subi de dommages importants. En moyenne pour les communes concernées, environ 1% des maisons inondées ont nécessité des travaux de réparations. Dans les villes à forte concentration ouvrière comme Alfortville et Puteaux cette part est supérieure à 10%.

[10] ALEXANDRE P., *Les communes suburbaines*, Rapport à la commission des inondations, 1910

Les différents témoignages rapportés dans la presse ou dans les divers rapports font Etat des difficultés des populations ouvrières lors de cette inondation. En effet, en plus de l'inondation de leur logement, elles ont dû faire face au chômage résultant de la paralysie de leur usine.

Les dommages aux entreprises

Comme les usines fournissant de l'énergie, les différentes entreprises de la région Île-de-France ont eu à souffrir des effets directs et indirects de l'inondation. Elles ont pu en effet être inondées interrompant ainsi la production ou bien ont subi les différentes pannes électriques liées aux difficultés des fournisseurs d'énergies. En amont de Paris, dans l'actuel département du Val-de-Marne, les communes les plus durement touchées sont Ivry-sur-Seine avec 67 établissements impactés, Alfortville (28) et Maisons-Alfort (15).

La fermeture des usines provoque l'arrêt du travail. En conséquence, 8 000 ouvriers à Corbeil-Essonnes et 3 500 à Puteaux se retrouvent au chômage et sans ressource. La présence de l'eau occasionne également des courts-circuits aux conséquences souvent graves. À Ivry, la vinaigrerie Pagès se trouve entourée par les eaux le 25 janvier. Un dysfonctionnement provoque l'explosion du bâtiment et l'incendie de près de 10 000 litres d'alcool méthylique[11].

De la gestion de crise à la gestion des risques

Entre prévention et secours : les autorités face à l'inondation

En l'absence de mesure sur la prévention du risque inondation - les premiers plans ne verront le jour qu'en 1935 avec le Plan de Surface Submersible - l'essentiel du système de prévention et d'alerte pour le bassin de la Seine repose en 1910 sur le système d'annonce de crue mis en place par Belgrand en 1854. À partir des relevés effectués dans différentes stations hydrométriques et de la connaissance des crues anciennes, le service d'observation est en mesure de fournir une estimation de la crue (hauteur, heure) aux différentes autorités. Ce système semble avoir fonctionné correctement en janvier 1910. En effet, le dépouillement du bulletin municipal officiel de Paris montre

[11] *L'Humanité*, Edition du 26 janvier 1910

que les autorités sont avisées de l'avancée de la crue. Le 22 janvier, les services météorologiques soulignent que la crue sera analogue à celle de 1882-1883. Le lendemain, suite à une hauteur de 5,93 mètres relevée la veille au Pont d'Austerlitz, ils indiquent que la ville doit se préparer à une crue de type 1876 (6,69 mètres).

Pour autant, le bulletin municipal officiel qui recense les délibérations prises par les autorités ne contient aucune décision relative à l'inondation. En effet, en vertu de la loi municipale du 5 avril 1884, les élus locaux ont l'obligation de prendre des mesures pour prévenir les risques liés aux aléas naturels[12]. Or, les autorités ne délibèrent sur la question que le 26, à la faveur d'un arrêté du préfet de la Seine qui les enjoint de se réunir en session extraordinaire. Emmanuel Evain, conseiller municipal de Paris, désabusé déclare le 26 janvier: « qu'a-t-on fait pour la prévenir [l'inondation] que tels ou tels points d'un quartier étaient menacés ? Rien n'a été fait »[13]. Il en appel avec ses collègues à une véritable remise en cause de la politique de prévention mise en œuvre aussi bien par la municipalité que par la préfecture. Le préfet de police Lépine avoue même qu'il ne sait pas en face de quels besoins les autorités se trouvent. Ce constat d'échec teinté de remords n'entame en rien la détermination des autorités. Si elles concèdent une part de responsabilité dans l'absence de prévention de la population, elles vont prendre une série de mesures pour éviter que la situation n'évolue en crise sociale et politique. Ainsi, un crédit de 100 000 francs est voté pour permettre aux sinistrés de faire face à l'urgence. Ensuite, dans les quartiers où l'inondation n'atteint pas une hauteur importante, il est question de multiplier les appontements afin de permettre aux populations de pouvoir accéder à leur logement. Ainsi se sont près de 39 kilomètres qui seront mis en place en l'espace de quelques jours.

Le préfet de police Lépine propose l'organisation d'un service de vigilance pour assurer la sécurité des biens et des personnes. En effet, les eaux n'ont pas seulement envahit les habitations. Sous l'effet du courant, elles ont sapé une grande partie des fondations. Le conseil de ville décide de généraliser l'évacuation des immeubles les plus menacés après avis d'architectes. Le 27 janvier, 2 500 habitants de l'avenue Ledru-Rollin (11e arrondissement) sont priés de quitter leur logement[14]. En cas de refus, comme à Courbevoie, les autorités recourent aux forces de l'ordre pour obliger les personnes à quitter leur logement. En conséquence, les autorités doivent trouver le moyen de reloger plusieurs milliers de personnes. Les commissaires de quartier ont

---

[12] *Loi municipale du 5 avril 1884*, Art. 97-6 « Le soin de prévenir par des précautions convenables, et celui de faire cesser, par la distribution des secours nécessaires, les accidents et les fléaux calamiteux tels que les incendies, les inondations, les maladies épidémiques ou contagieuses, les épizooties, en provoquant, s'il y a lieu, l'intervention de l'administration supérieure ».

[13] « Compte rendu de la séance du 26 janvier 1910 », *Bulletin Municipal Officiel,* 6 février 1910

[14] *L'Humanité*, Edition du 29 janvier 1910

déjà pris le parti d'en expédier une grande partie dans différents hôtels. Viennent s'ajouter les habitants des villes voisines qui cherchent dans la capitale un hébergement.

Dans la nuit du 24 au 25 janvier 1910, près de 2 000 habitants de Maisons-Alfort essaient de trouver refuge à Paris. Les autorités décident donc de procéder à la réquisition des bâtiments publics susceptibles de pouvoir accueillir les sinistrés. Toutefois ces différentes mesures impliquent la réquisition de nombreux hommes dont la ville ne dispose pas. Lépine décide de faire appel à l'armée pour pallier cette pénurie. Cinq jours plus tard, lors d'une session extraordinaire du Conseil Général de la Seine, il donne un inventaire des troupes et matériels qu'il a obtenus du ministre de la Marine et du gouverneur militaire de Paris[15]. Au total, ce sont 47 bataillons d'infanterie, 16 escadrons de cavalerie, 18 compagnies de sapeurs mineurs, 3700 chevaux, 200 bateaux, 290 canots et 23 barques qui ont été déployés dans la région Île-de-France. Lors de cette même session, les différents acteurs sont réunis pour dresser l'ensemble des mesures à prendre à l'échelle départementale. En effet, si la décrue a commencé depuis le 28 janvier, les risques sanitaires (pollution de l'eau, développement de maladies…) préoccupent les autorités. La première mesure est donc de procéder à la désinfection de tous les bâtiments touchés et d'appeler la population à aérer son logement.

[15] « Compte rendu de la séance du Conseil Général de la Seine du 31 janvier 1910 », *Bulletin Municipal Officiel*, 7 février 1910

LES MESURES DE PROTECTION POSTÉRIEURES À 1910

Après l'inondation de 1910, une commission présidée par Alfred Picard a été chargée « [d'] *envisager l'avenir* », c'est-à-dire de proposer des mesures pour prévenir le retour d'un tel événement[16]. Plusieurs rapports sont donc rédigés afin de rendre compte des dommages occasionnés et des dispositifs envisagés. En 1924, au lendemain d'une importante crise fluviale (sécheresse et inondation) la commission Dusuzeau propose également une série de mesures. Tout au long du XXe siècle et suivant les caprices du fleuve, différents aménagements ont été réalisés dans la perspective de réduire la vulnérabilité de la région.

L'EXHAUSSEMENT DES MURETTES

L'exhaussement des ouvrages de défense (digue, levée, murette) est couramment utilisé dans la gestion du risque[17]. Depuis les inondations désastreuses de la Loire (1846, 1856, 1866) jusqu'au lendemain de la tempête Xynthia, ces ouvrages apparaissent comme une réponse inévitable à la catastrophe. Cependant, ces ouvrages augmentent la vulnérabilité en raison du risque en cas de rupture et des modifications des écoulements à l'aval. [18]. Aujourd'hui à Paris, les murettes sont au niveau de la crue centennale de 1910. Dans le Val-de-Marne et en Seine-Saint-Denis, elles protègent contre les crues d'une période de retour allant jusqu'à 50 ans[19].

LES TRAVAUX DU LIT DE LA SEINE

Le creusement du lit de la Seine est une pratique également ancienne. En 1876, au lendemain de l'inondation, les bras de l'île Saint-Louis et de la Cité sont en effet creusés afin d'abaisser la ligne d'eau[20]. En 1924 de nouveaux travaux sont réalisés.

---

[16] *Commission des inondations. Rapports et documents divers*, Paris, Imprimerie Nationale, 1910

[17] DESARTHE J., *Le temps des saisons, Climat, événements extrêmes et sociétés dans l'Ouest de la France*, Paris, Hermann, 2013, 338 p.

[18] SETEC, IIBRBS, *Système de protections locales en région parisienne. Évaluation hydraulique et définition des besoins de renforcement*, 1998, Cité par REGHEZZA-ZITT M., *Paris, Coule-t-il ?,* Paris, Fayard, 2012, p. 170

[19] REGHEZZA-ZITT M., *Paris, Coule-t-il ?,* Paris, Fayard, 2012, p. 169

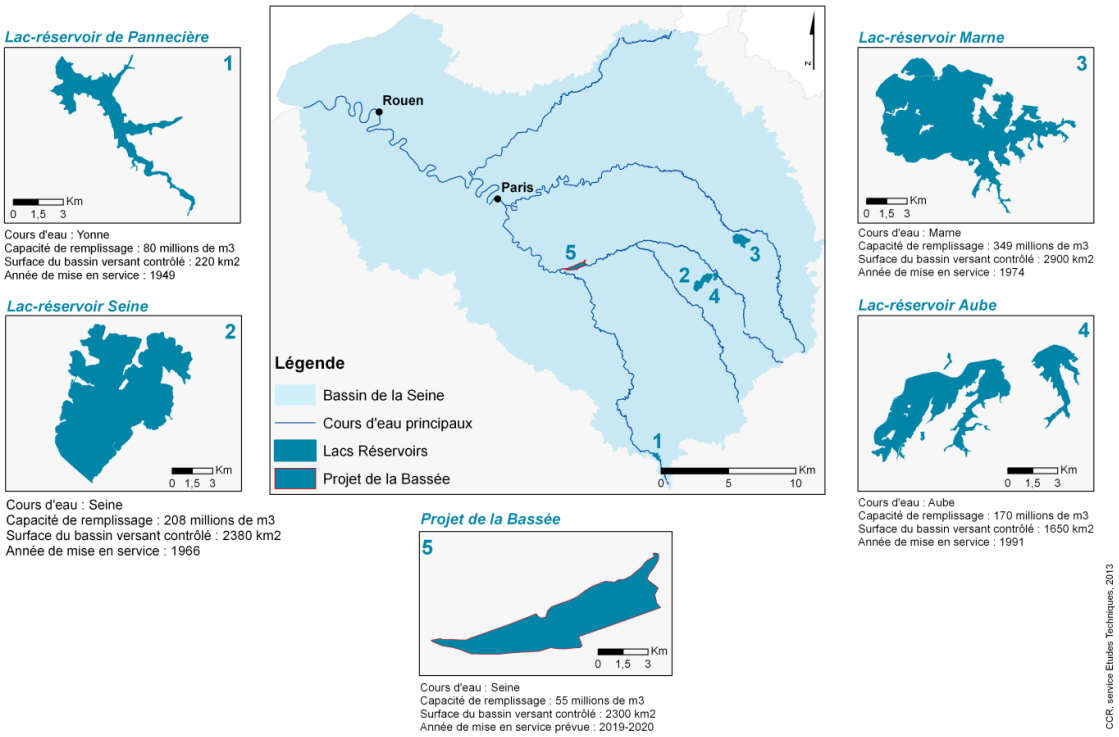
[20] REGHEZZA-ZITT M., *Paris, Coule-t-il ?,* Paris, Fayard, 2012, p. 171

Parallèlement, des aménagements sont réalisés comme la reconstruction de pont ou encore la réfection des barrages-écluses.

Les lacs-réservoirs

À la suite de la sécheresse de 1920 et de l'inondation 1924, le ministère des Travaux Publics approuve la construction de barrages visant à créer une réserve d'un milliard de mètres cubes utilisable aussi bien lors des crues que lors des étiages pour maintenir la Seine à un niveau optimum afin de répondre aux usages domestiques et professionnels. Ces grands travaux ont été effectués progressivement au cours de la seconde moitié du XXe siècle. Aujourd'hui, quatre lacs-réservoirs d'une capacité totale de 807 millions de mètres cubes sont chargés d'assurer la régulation du bassin amont de la Seine (Figure 3)[21]. Le projet de « La Bassée » permettrait à l'horizon 2020 de porter cette capacité à 862 millions de m^3.

Figure 4 : Les lacs-réservoirs du bassin de la Seine



[21] Données extraites du site de l'EPTB Seine Grands Lacs, http://www.seinegrandslacs.fr/

PARTIE II – LA CRUE DE LA SEINE AUJOURD'HUI : MODÉLISATION ET DOMMAGES

La CCR a mené, depuis près de dix ans, différents projets ayant abouti à la mise en place :

- d'une base de données sur les arrêtés de reconnaissance de l'Etat de catastrophe naturelle ;
- d'une base de données assurantielle géolocalisée à différents niveaux de précision (adresse, rue, commune) sur les portefeuilles et les sinistres catastrophes naturelles, constituée dans le cadre des relations bilatérales et confidentielles entre la CCR et ses clients ;
- d'un modèle inondation visant à estimer les dommages consécutifs à une inondation[22].

Dans son fonctionnement standard, le modèle permet de simuler les inondations les plus fréquentes et les plus coûteuses, à savoir les inondations par débordement et par ruissellement. Sont en revanche exclues les inondations par remontée de nappes. Le modèle déterministe est un modèle distribué permettant de simuler les écoulements d'eau en continu sur un modèle numérique de terrain (MNT). Ce modèle a été conçu pour intégrer les principaux processus hydrologiques qui peuvent conduire à une crue génératrice de dommages : transformation de la pluie en débits, infiltration, écoulement de l'eau, hydrologie des cours d'eau, débordement.

Modélisation de l'aléa

Le modèle utilise, en entrée, les données suivantes qui ne sont pas dépendantes des événements :

- Un modèle numérique de terrain (MNT) au format matriciel (BD Alti de l'IGN à 50m) ;
- Réseau hydrographique (BD Carthage de l'IGN) ;
- Occupation du sol (provenant de Corine Land Cover).

Les données d'entrée suivantes dépendent de chaque événement :

---

[22] MONCOULON D., LABAT D., ARDON J., LEBLOIS E., ONFROY T., POULARD C., AJI S., REMY A., QUANTIN A., « Analysis of French insurance market exposure to floods : a stochastic model combining river overflow and surface runoff », Natural Hazard and Earth System Science, 14, 2014, p. 1469-1485

- Évapotranspiration potentielle, pluies journalières et horaires ;
- Débits journaliers sur la période ;
- Débits maximums mensuels du ou des mois de l'événement.

Les 3 premières données proviennent de Météo France et les 2 dernières proviennent de la banque Hydro, base de données administrée par le Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations (SCHAPI), service du Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer (MEEM).

La modélisation de l'aléa est simplifiée lorsqu'un scénario du type Paris 1910 est simulé. En effet, les valeurs de débits mesurées sur les stations du réseau hydrographique sont utilisées à la place des données de pluie. Le modèle se charge alors de :

- Propager les débits le long du réseau hydrographique ;
- Transformer les débits en hauteurs ;
- Déterminer la survenance du débordement en cas de dépassement du seuil (correspondant aux murettes et digues le long de la Seine ou au débit décennal) ;
- Calculer l'expansion de la zone de crue et la hauteur d'eau en chaque point.

Le modèle fait certaines hypothèses simplificatrices, notamment concernant l'impact de la saturation des réseaux d'évacuation des eaux en zone urbaine, les canalisations, les réseaux karstiques, etc. qui peuvent potentiellement aggraver la sinistralité. Le tableau ci-dessous présente les 2 scénarios qui ont fait l'objet d'une modélisation.

TABLEAU 1 : DESCRIPTION DES SCÉNARIOS DE CRUE SIMULÉS

Scénario	Descriptions
S1	9,11 m au pont d'Austerlitz à Paris (1.15 fois le débit de janvier 1910)
S2	8,15 m au pont d'Austerlitz à Paris (même débit que janvier 1910)

Modélisation des dommages

Le coût d'un événement est estimé sur la base d'un portefeuille de risques assurés géolocalisés superposé à l'aléa simulé de l'événement. Pour chacun des risques situés en zones d'aléa, le modèle calcule une fréquence de sinistre (ou une probabilité d'être sinistré) ainsi qu'un coût en cas de sinistre en appliquant un taux de destruction à la valeur assurée.

La probabilité de sinistre est calculée en distinguant les types de risques suivants :

- Maison – Propriétaire occupant ou locataire ;
- Appartement – Propriétaire occupant ou locataire ;
- Propriétaire non occupant et copropriété ;
- Risques professionnels (agricoles, industriels, autres risques professionnels).

Les variables prises en compte pour l'estimation de la probabilité de sinistre sont principalement :

- La hauteur de débordement ;
- Le débit de ruissellement ;
- La probabilité d'être au rez-de-chaussée pour les habitats collectifs (estimée à partir des informations sur le nombre d'étages par immeuble fournies par l'INSEE).

La fonction permettant d'estimer la probabilité de sinistre à partir des variables d'aléa et de vulnérabilité est calibrée à partir des risques couverts et des sinistres survenus lors d'événements passés.

Pour estimer le coût en cas de sinistre, on traite à part les risques situés dans la zone de ruissellement et les polices situées dans la zone de débordement. Les variables prises en compte pour l'estimation du coût en cas de sinistre sont les suivantes : type de risques, valeurs assurées, débits de ruissellement ou hauteurs de débordement.

Une estimation de la charge restant pour l'assuré est estimée dans le présent rapport. Il s'agit de la franchise des particuliers et des professionnels (10%) considérée comme une franchise simple (hors doublement de franchise en cas de reconnaissances multiples).

Calibrage et validation du modèle

Ce modèle a été initialement développé pour simuler tous les types d'événements (crues de plaine, crues de montagne, crues cévenoles) rencontrés en France métropolitaine. Cependant, sa modélisation des nappes souterraines étant très simplifiée, il est de fait mieux adapté aux crues à régime rapide, crues de montagne et crues cévenoles. La non-prise en compte de la fonte du stock de neige constitue toutefois une limite en zone de montagne. L'un des principaux atouts de ce modèle est d'être utilisable pour simuler tout événement météorologique et/ ou hydrologique survenant sur une superficie et une durée variables dans la limite des capacités de calcul de la CCR. Il est ainsi utilisable sur toute la France métropolitaine et a notamment été testé et calibré sur les principaux événements des dix dernières années : la crue du Rhône en décembre 2003, les inondations du Gard en septembre 2002, celles ayant touché l'Aude en novembre 1999, ou le Sud-Est en novembre 2008 pour ne citer que les plus coûteux. Tout l'enjeu du calibrage est non seulement d'obtenir une simulation correcte des débits maximums observés sur différents tronçons des cours d'eau pendant un ancien épisode de crue, mais surtout de modéliser l'enveloppe de la zone inondée pour estimer au mieux les dommages causés par un événement. Tous les paramètres du modèle sont ajustés sur la modélisation des dommages pour un catalogue d'événements passés représentatifs. Certains choix simplificateurs dans la modélisation des phénomènes physiques se justifient par leur faible impact sur le coût d'un événement en sortie du modèle. Le tableau suivant présente quelques résultats de simulation d'événements passés (Tableau 2).

TABLEAU 2 : COMPARAISON COÛT RÉEL (SOURCE : CCR) ET COÛT SIMULÉ (HORS AUTOMOBILE) DU MODÈLE DÉTERMINISTE POUR LE MARCHÉ DE L'ASSURANCE (CHIFFRES EN M€ DE L'EXERCICE)

Événement	Coût réel (M€)	Coût simulé (M€) [centiles 10-90]
Aude (Novembre 1999)	330	[277-416]
Gard (Septembre 2002)	600	[361-555]
Rhône (Décembre 2003)	730	[516-913]
Gard (Septembre 2005)	77	[174-277]
Centre Est (Novembre 2008)	130	[127-166]

Le calibrage du modèle de dommages a été réalisé sur l'historique de sinistralité. Les mesures de prévention mises en œuvre sur des zones exposées ne sont pas prises en compte dans le modèle de dommages.

Résultats de modélisation

Le tableau 3 ci-dessous présente les résultats de simulation des dommages en fonction de différents scénarios de crue en termes de coût total (espérance mathématique de la distribution des coûts simulés) et d'intervalles de confiance (IC) à 10% et 90%. Les montants sont en milliard d'euros 2015 (Md€).

TABLEAU 3 : RÉSULTATS DE SIMULATION AVEC LE MODÈLE CCR (EN MD€ 2015)

Scénario	Cout total (Md€)	Intervalle 10%	Intervalle 90%	Montant à la charge des assurés (Franchise)
S1	13,3	8,8	23,9	1
S2	5,1	3,5	9,1	0,4

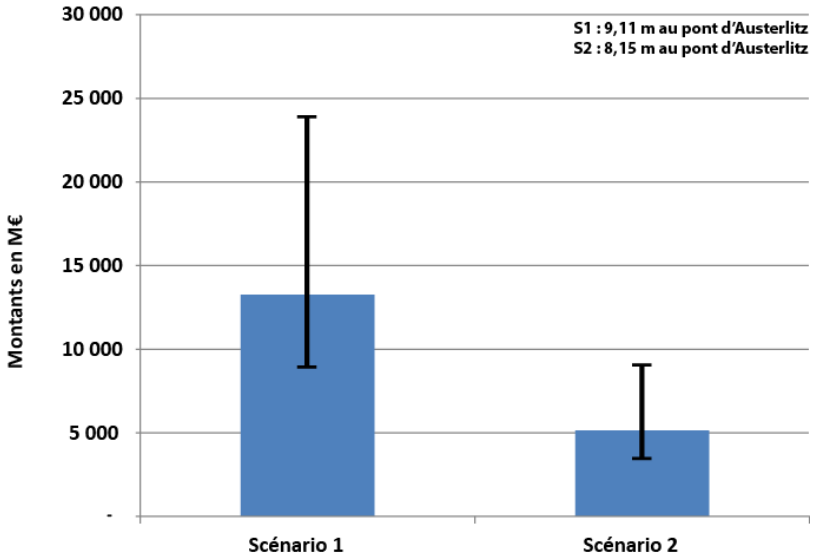
À ce coût pris en charge par l'assurance, vient s'ajouter la franchise, c'est-à-dire le montant restant à la charge des assurés. Son calcul est fait à partir du nombre de sinistres de particuliers (franchise de 380 €) et du montant des dommages professionnels (franchise de 10% du montant). Pour cette étude, une franchise simple est utilisée pour toutes les communes.

Dans le cas du scénario 1 (S1), les assureurs et le marché privé de la réassurance prendraient en charge 23% du coût total estimé. Le montant restant serait couvert par les traités de réassurance de CCR. Dans le cas de ce scénario extrême, une partie des dommages serait prise en charge par la garantie d'ETAT en raison du dépassement du seuil d'intervention.

Dans le cas du scénario 2 (S2), les assureurs et le marché privé de la réassurance prendraient en charge 43% du coût total. CCR couvrirait les dommages restants sans faire appel à la garantie d'Etat.

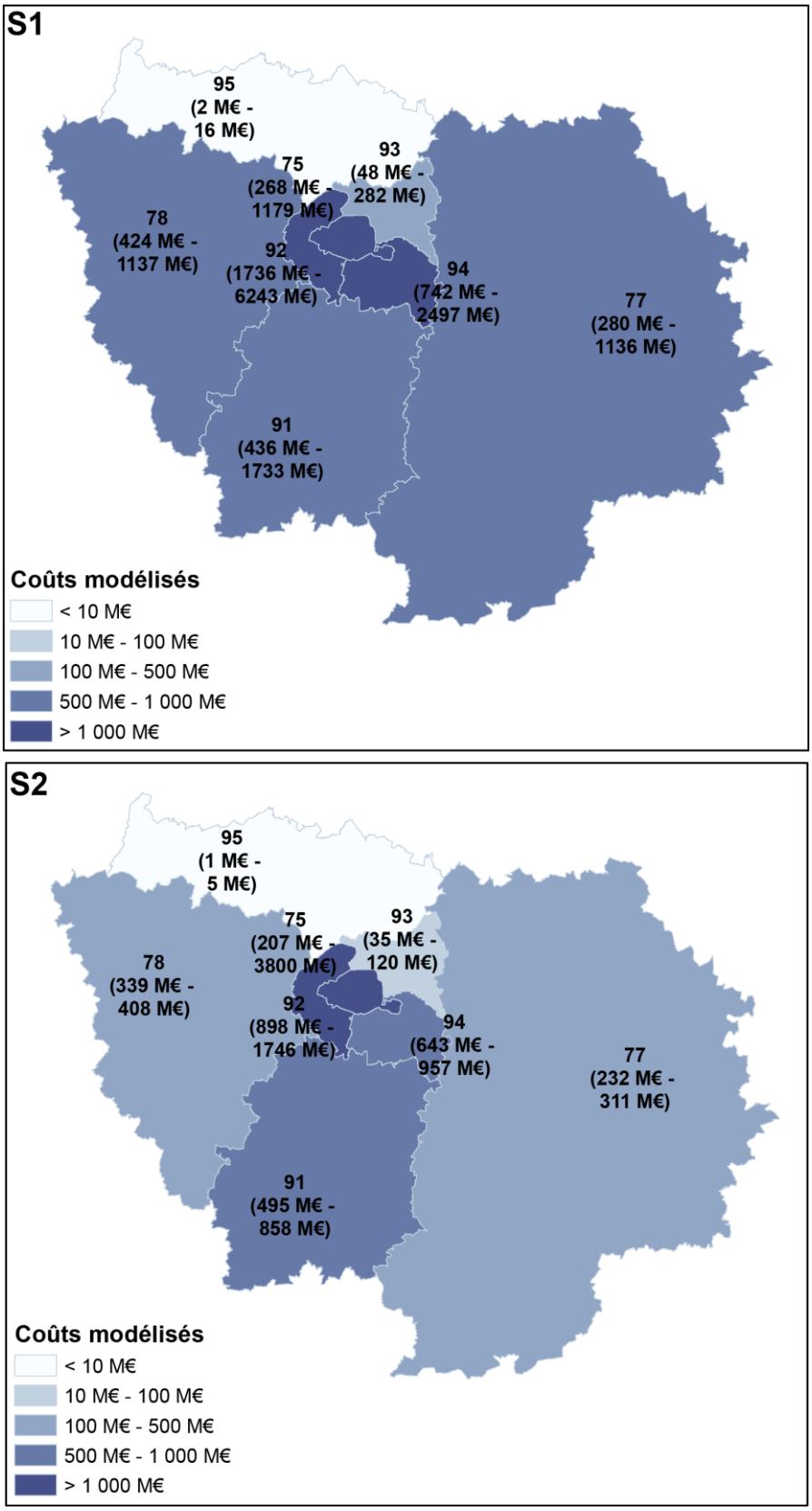
Le graphique de la figure 5 présente les dommages simulés en fonction du scénario de crue modélisé :

FIGURE 5 : RÉSULTATS DE SIMULATION DES DEUX SCÉNARIOS (COÛT MOYEN SIMULÉ – INTERVALLE DE CONFIANCE 10-90)



La carte de la figure 6 présente la répartition géographique des dommages par départements en fonction du scénario de crue simulé.

FIGURE 6 : RÉSULTATS DE SIMULATION DES SCÉNARIOS AVEC LES INTERVALLES DE CONFIANCE À 10 ET 90%



Les dommages modélisés portent exclusivement sur le périmètre des sinistres pris en charge par le régime Cat Nat. Les montants concernent donc :

- Les sinistres hors automobiles portant sur les polices d'assurance habitations, agricoles, industrielles ou commerciales qui incluent :
    - Les dommages directs ;
    - La perte d'exploitation consécutive à des dommages directs pour les risques professionnels ;
- Une part automobile estimée à 5,7% des dommages non-auto (taux moyen observé sur les événements d'inondation passés).

Le portefeuille d'assurance utilise la classification SIRENE pour les risques industriels. Les dommages Cat Nat ne concernent que les communes pour lesquelles la demande de reconnaissance de l'Etat de Catastrophe Naturelle reçoit un avis favorable par décision de la Commission Interministérielle. Pour cette étude, nous considérons que toute les communes sont reconnues Cat Nat du moment qu'elles sont touchées par au moins un sinistre du fait du caractère particulièrement extrême de cet événement.

Ces différents scénarios ne prennent pas en compte un certain nombre de facteurs. En premier lieu, les effets du ruissellement causés par les pluies intenses en zone urbaine ne sont pas pris en compte dans cette approche basée uniquement sur les débits des cours d'eau. De même, mis à part pour la Seine, la connaissance des ouvrages de protection (murettes, digues) n'est que partielle sur les autres cours d'eau de la région. Enfin, les pertes d'exploitations pour les risques professionnels sont difficiles à estimer. L'effet des remontées de la nappe d'accompagnement de la Seine sur les ouvrages souterrains dont l'étanchéité n'est pas totale n'est pas pris en compte et peut cependant avoir un impact significatif sur les réseaux (électricité, eau potable, transports).

CONCLUSION

Par son ampleur, la crue de 1910 a profondément marqué les esprits des populations. Toutefois, en dépit des politiques de sensibilisation, une grande partie de la population ne se sent pas exposée aux risques inondations[23]. Les simulations réalisées en fonction des différents scénarios donnent une indication de l'étendue des dommages en cas de réalisation du risque à l'échelle du bassin versant de la Seine et des départements du bassin économique d'Île-de-France.

Le **scénario S1,** le plus extrême, équivalent à 115% du débit de janvier 1910, se traduirait par des dommages assurés moyens au titre du régime Cat Nat d'environ 13 Md€ selon le modèle (avec une incertitude importante générant un intervalle de confiance de 8,8 à 23,9 Md€). **Le scénario S2**, soit une crue de même débit qu'en 1910 générant 8,15m de hauteur au pont d'Austerlitz, constituerait un sinistre de plus de 5 milliards d'euros pour le régime (3,5 Md€ à 9,1 Md€). À titre comparatif, le coût pour le marché de l'assurance au titre de la garantie Cat Nat, de la tempête Xynthia qui a frappé le littoral Atlantique en février 2010 est estimé aujourd'hui à 710 M€.

Le régime Cat Nat couvrant uniquement les dommages directs et les pertes d'exploitation consécutives sur des biens assurés, il conviendrait de tenir compte des dommages non assurés pour estimer l'impact économique global d'une crue de la Seine. En effet, les dommages aux réseaux, aux ouvrages d'art, ou encore aux biens de l'Etat ne sont pas couverts et constituent cependant une part importante des dommages causés par un tel événement.

Au vu des montants de dommages estimés, le régime d'indemnisation des catastrophes naturelles pourrait faire face à un événement de telle ampleur. L'intervention de l'Etat serait néanmoins nécessaire pour les scénarios les plus sévères.

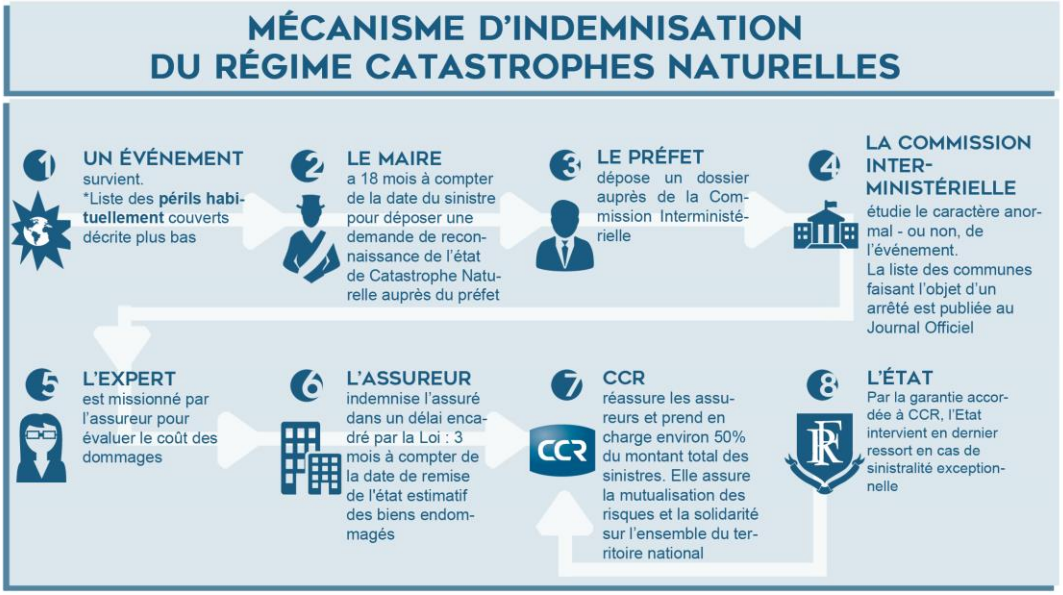
Cependant, de grandes incertitudes subsistent dans la modélisation de telles catastrophes. En effet, les dommages directs simulés ne représentent sans doute qu'une partie de la réalité des impacts, même au niveau assurantiel, car les modèles ne sont calibrés que sur les événements récents, pour lesquels des données sont disponibles et aucun n'a atteint l'ampleur de la catastrophe de janvier 1910.

---

[23] ROY, A., « Les français clairvoyants sur leur exposition au risque d'inondation », *Le 4 pages*, IFEN, n°123, janvier-février 2008 ; Centre Européen de Prévention du Risque d'Inondation, *Sensibiliser les populations exposées au risque d'inondation. Comprendre les mécanismes du changement de la perception et du comportement*, Avril 2013, 60 p.

ANNEXES

ANNEXE 1 : FONCTIONNEMENT DU RÉGIME CAT-NAT



Annexe 2 : Les dommages au fil de la crue en 1910

Date	Hauteur de crue (en mètres)	Effets
22/01	**5, 93**	*Paris* : Usine motrice du quai de la Rapée inondée *Paris* : Ligne 1 et 6 du métro paralysée *Vitry* : Usine électrique quai du pont inondée *Versailles* : Accès à l'eau compromis
23/01	**6,25**	Évacuation au quai d'Auteuil
24/01	**6,74**	*Paris* : 1,80 mètre d'eau au Quai de la Gare et Quai de la Rapée. Évacuation des immeubles alentour *Alfortville* : maisons abandonnées *Saint-Germain en Laye* : Usines inondées Mesures d'hygiènes recommandées par les autorités (faire bouillir l'eau…)
25/01	**7,09**	*Corbeil, Vitry, Choisy et Ivry* : Usine inondée, ouvriers au chômage *Paris* : Interruption partielle du métro ; La rumeur d'une destruction du pont de l'Alma se répand dans la ville *Andresy* : usine à gaz pour l'éclairage ne fonctionne plus *Choisy-le-Roi* : Usine élévatoire des eaux arrêtée
26/01	**7, 51**	*Paris* : Effondrement du tunnel de la station Bercy (ligne 6) *Puteaux* : Fermeture des usines *Paris* : Rupture de l'égout de la rue du Havre et de la rue Saint-Lazare *Paris* : Mesure de protection des immeubles qui sont susceptible de s'effondrer *Villeneuve-Triage, Nanterre* : Évacuation des habitants menacés par la montée des eaux
27/01	**8,16**	*Paris* : Le Museum cherche à évacuer les éléphants
28/01	**8.62**	*Paris* : 2500 habitants de l'avenue Ledru-Rollin ont abandonné leur logement *Paris* : 1,5 mètre d'eau dans les sous-sols de l'hôtel de ville *Gennevilliers* : rupture de la digue
29/01	**8, 57**	*Paris* : Évacuations d'immeubles menaçant de s'effondrer
30/01	**8, 34**	*Saint-Mandé* : 500 sinistrés recueillis
31/01	**8**	*Alfortville* : Déploiement de la troupe pour éviter les troubles et les pillages

BIBLIOGRAPHIE

ALEXANDRE P., *Les communes suburbaines*, Rapport à la commission des inondations, 1910

AMBROISE-RENDU M., « 1910 : La Seine en crue paralyse la capitale », *La Houille Blanche*, n°8, 1997, p. 41-44 ; MARTI R., LEPELLETTIER T., « L'hydrologie de la crue de 1910 et autres grandes crues du bassin de la Seine », *La Houille Blanche*, n°8, 1997, p. 33-39

BOREUX M., *La distribution du gaz d'éclairage à Paris »*, Rapport à la commission des inondations, 1910.

Commission des inondations. Rapports et documents divers, Paris, Imprimerie Nationale, 1910

DESARTHE J., *Le temps des saisons, Climat, événements extrêmes et sociétés dans l'Ouest de la France*, Paris, Hermann, 2013, 338 p.

Étude de l'OCDE sur la gestion des risques d'inondation : la Seine en Île-de-France, 2014, 220 p.

MONCOULON D., LABAT D., ARDON J., LEBLOIS E., ONFROY T., POULARD C., AJI S., REMY A., QUANTIN A., « Analysis of French insurance market exposure to floods : a stochastic model combining river overflow and surface runoff », Natural Hazard and Earth System Science, 14, 2014, p. 1469-1485

NOUAILHAC-PIOCH, *Monographie de la crue de janvier-février-mars 1910*, Commission des inondations, 1910, 94 p.

REGHEZZA-ZITT M., *Paris, Coule-t-il ?,* Paris, Fayard, 2012, 319 p.

SCHNEIDER M., « Caractérisation météorologique de la crue de 1910 en région parisienne », *La Météorologie*, n°28, décembre 1999, p. 36

SETEC, IIBRBS, *Système de protections locales en région parisienne. Évaluation hydraulique et définition des besoins de renforcement*, 1998, Cité par REGHEZZA-ZITT M., *Paris, Coule-t-il ?,* Paris, Fayard, 2012, p. 170

Cette présentation et tous les éléments qu'elle contient (notamment les textes, publications, images, photographies et éléments graphiques ou cartographiques) sont la propriété exclusive de CCR ou de tiers l'ayant expressément autorisée à les utiliser.

Toute reproduction, représentation ou utilisation intégrale ou partielle de la présentation, est interdite, sauf autorisation préalable et écrite de CCR.

Le contenu de la présentation est strictement informatif et n'a aucune valeur contractuelle.

CCR décline toute responsabilité pour tous dommages directs ou indirects, quelles qu'en soient la cause ou la nature, en lien avec la présentation et subis notamment à raison de l'utilisation ou de l'éventuelle inexactitude des éléments contenus dans la présentation.

Auteurs

David Moncoulon
dmoncoulon@ccr.fr

Jérémy Desarthe
jdesarthe@ccr.fr