



Évolution du risque d'inondation sur la période 2015-2030 compte tenu des mesures nationales de gestion

Rapport de synthèse



Internationale
Kommission zum
Schutz des Rheins

Commission
Internationale
pour la Protection
du Rhin

Internationale
Commissie ter
Bescherming
van de Rijn



Inondations avec mesures de protection (janvier 2018 Coblence) (source : CIPR)

Rapport n° 283



**Groupe d'experts 'Risques d'inondation' CIPR (GE HIRI) dans le cadre du
Groupe de travail 'Inondations et étiages' (GT H)**

Markus Hostmann (CH) (président)
Thomas Mann (DE), Nina Mölkner (DE-BW), Felix Rau (DE-FGG Rhein)
Torsten Fay (BfG)
Holger Kugel (CIPMS)
Anne Landrière (FR)
Max Schropp (NL)
Sabine Siegmund (HWNG Rhein)

Secrétariat de la CIPR : Adrian Schmidt-Breton, Nikola Schulte-
Kellinghaus, Marc Daniel Heintz
Dominique Falloux, Isabelle Traue, Gwénaëlle Janiaud, Fabienne van
Harten, Marianne Jacobs, Dieuwke Beljon

Autres contributeurs :
Ton Botterhuis (consultant, HKV Lijn in water)
Gerard Huber (AT-V)
Emanuel Banzer (LI), Stephan Wohlwend (LI), Catarina Proidl (LI)

Editeur:

Commission Internationale pour la Protection du Rhin (CIPR)
Kaiserin-Augusta-Anlagen 15, D 56068 Coblenze
Postfach 20 02 53, D 56002 Coblenze
Téléphone +49-(0)261-94252-0, téléfax +49-(0)261-94252-52
Courrier électronique:
sekretariat@iksr.de
www.iksr.org
<https://twitter.com/ICPRhine/>

Table des matières

Table des matières	1
Résumé et conclusions	3
1. Introduction	5
2. Méthode d'identification des effets des mesures sur le risque d'inondation	6
2.1 Méthode de calcul	6
2.2 Santé humaine	12
2.3 Environnement	14
2.4 Patrimoine culturel	15
2.5 Activité économique	16
2.6 Prise en compte de mesures dans les calculs	17
2.6.1 Généralités	17
2.6.2 Prise en compte de mesures techniques de protection contre les inondations	18
3. Résultats	20
3.1 Santé humaine	20
3.2 Environnement	24
3.3 Patrimoine culturel	26
3.4 Activité économique	28
3.5 Évaluation au regard des PIGRI	30
4. Analyse de sensibilité	32
4.1 Impact de l'occupation des sols	32
4.2 Effets d'autres jeux de données sur les résultats	34
4.3 Comparaison avec les calculs effectués en 2016 (cf. rapport CIPR n° 236) 38	
5. Conclusion	40
Annexes	42
Annexe 1 : Sources bibliographiques	43
Annexe 2a : Liste des mesures et des indicateurs utilisés dans la méthode et mention de leur impact sur les types d'enjeux, de même que sur les dommages ou le risque	45
Annexe 2b : vue synoptique des données fournies sur les indicateurs/mesures nationaux (avec taux de mise en sûreté)	46
Annexe 3 : synthèse des données d'entrée utilisées	48
Annexe 4 : pourcentage de surface inondable par État et par scénario de crue 49	

Statut du document

Pour identifier les effets de mesures sur le risque d'inondation, la **Commission Internationale pour la Protection du Rhin (CIPR)** a mis au point une **méthode** qui a été concrétisée sous la forme d'un **système d'information géographique baptisé « ICPR FloRiAn (Flood Risk Analysis)¹ »**.

Le présent **rapport de synthèse** (rapport CIPR n° 283, 2021) intègre une synthèse de la méthode et des résultats des calculs réalisés à l'aide de l'outil d'identification de la modification/réduction du risque d'inondation sur le cours principal du Rhin découlant de la prise de mesures depuis 2015.

Le **rapport technique** (rapport CIPR n° 237, 2016) contient - à titre de documentation de la procédure suivie - une description détaillée de la méthode, des modes de calcul, de l'outil et des données y relatives, des indicateurs et des hypothèses retenues. En outre, ce rapport fait fonction de guide à l'adresse des utilisateurs tiers de l'outil.

L'annexe 1 renvoie à d'importantes sources bibliographiques, y compris des rapports CIPR et des publications externes.

Le Groupe d'experts 'Risque d'inondations' (GE HIRI) subordonné au Groupe de travail 'Inondations et étiages' (GT H) a effectué et accompagné les travaux. Il a bénéficié du soutien technique du consultant HKV Lijn in water.

Information/clause de non-responsabilité :

La méthode présentée ici est axée sur la réalisation d'une analyse à grande échelle de la modification du risque d'inondation sous l'effet de mesures prises au niveau du Rhin. Les calculs effectués grâce à FloRiAn ont produit des résultats par État qui ont été examinés dans le cadre de la CIPR et regroupés à l'échelle du Rhin.

La méthode spécifique et les bases de données disponibles mises en commun à échelle grossière pour le Rhin peuvent s'écarter (parfois notablement) des méthodes nationales de calcul et des résultats nationaux fondés sur des bases de données plus précises (p. ex. dans le cadre des plans nationaux de gestion des risques d'inondation). La méthode calcule certes des valeurs absolues pour les risques, mais les modifications relatives sont plus probantes car elles sont plus fiables.

La méthode présentée et FloRiAn peuvent également être appliqués à une échelle fine ou à un niveau régional/local (voir annexe 1). Pour ce faire, il faut également ajuster les données de base au niveau souhaité à échelle fine.

Indications sur la transmission de l'outil « FloRiAn » à des utilisateurs tiers

L'outil « FloRiAn », son guide d'utilisation en anglais (Users Guide) et son document technique de référence (Technical Reference) ainsi que des données d'entrée de test prises à titre d'exemple peuvent être transmis à des tiers. Cette transmission, gratuite en règle fondamentale, peut éventuellement prévoir une indemnisation des frais engagés (signature d'un simple accord d'utilisation). L'utilisation de l'outil par des usagers externes (voir annexe 1) est la bienvenue et a permis par le passé d'améliorer l'outil ou la méthode.

Les utilisateurs externes travaillent avec l'outil sous leur propre responsabilité. En contrepartie, les utilisateurs sont priés de faire rapport à la CIPR de leurs expériences acquises avec l'outil (et éventuellement des résultats obtenus), de même que des perfectionnements accessoirement apportés à cet outil.

Si des perfectionnements sont apportés à l'outil, il en sera remis une copie gratuite à la CIPR.

Les données utilisées pour les calculs et des données de sortie (résultats des calculs) sont transmissibles à des tiers sous réserve de l'accord du propriétaire respectif de ces données.

¹ Pour plus d'informations sur l'outil FloRiAn : <https://www.iksr.org/fr/themes/inondations/outil-risque-dinondation-florian>

Résumé et conclusions

La CIPR a mis au point en 2015 une méthode quantitative innovante et un outil SIG devant permettre d'identifier les risques d'inondation et l'effet de mesures de réduction des risques. L'outil à caractère pilote « [ICPR FloRiAn](#) » (Flood Risk Analysis) sert à évaluer l'évolution des risques d'inondation sur le Rhin et à vérifier régulièrement les effets de mesures sur le risque d'inondation dans le cadre du [Plan international de gestion des risques d'inondation du District hydrographique international Rhin](#)² ; il se fonde sur les mesures des [PGRI nationaux/régionaux](#). La [directive communautaire sur la gestion des risques d'inondation \(DI\)](#) est la référence déterminante pour les mesures et les enjeux. L'outil FloRiAn utilise des cartes des zones inondables pour des crues de faible, moyenne et forte probabilités (désignées ci-après HQ_{extrême}, HQ_{moyen} et HQ_{fréquent}), les quatre enjeux de la DI (santé humaine, environnement, patrimoine culturel, activité économique) tirés des cartes des risques d'inondation, ainsi que différents types de mesures.

Cet outil a permis de réaliser fin 2015 des calculs sur l'efficacité des mesures portant sur la réduction du risque depuis 1995 (voir [rapports CIPR n° 236 et 237](#)). Les recommandations sur l'utilisation future de l'outil prennent également en compte les expériences tirées d'applications externes.

En 2016, le Groupe de travail 'Inondations et étiages' de la CIPR (GT H) a confié à son groupe d'experts 'Risques d'inondation' de la CIPR (GE HIRI) les tâches suivantes :

- Suivi et évaluation du 1^{er} PIGRI 2015-2021 : les mesures mises en œuvre jusqu'en 2020 (ou 2021) au niveau national font-elles apparaître une réduction des dommages potentiels et des risques³ ?
- Analyse préliminaire du 2^e PIGRI 2022-2027 : comment les dommages potentiels et le risque vont-ils évoluer sous l'effet des mesures futures prévues d'ici 2030 (ou 2027) ?
- Analyse de l'efficacité des différentes mesures de gestion des risques d'inondation.

Les résultats des calculs sur l'évolution du risque jusqu'en 2030 ont été comparés en outre avec le nouvel objectif du programme [Rhin 2040](#) (c'est-à-dire une réduction du risque d'au moins 15 % d'ici 2040 par rapport à 2020).

Les calculs du GE HIRI ont donné les résultats suivants :

- Suivi et évaluation du 1^{er} PIGRI 2015-2021 :
 - Entre 2015 et 2020, les dommages potentiels sont restés constants pour la santé humaine (nombre d'habitants touchés), l'environnement et le patrimoine culturel et ont augmenté pour l'enjeu 'activité économique'. Raison de l'absence d'une baisse générale des dommages : les mesures d'abaissement des niveaux d'eau n'ont pas d'impact sur les dommages potentiels, car elles agissent uniquement sur la probabilité d'inondation.
 - Baisse sensible du risque entre 2015 et 2020 pour tous les enjeux. Raison : sur la période couverte par les calculs (2015-2020), de nombreuses mesures d'abaissement des niveaux d'eau ont été mises en œuvre, ce qui se traduit par une réduction du risque d'inondation.
- Analyse préliminaire du 2^e PIGRI 2022-2027 sur la base des actuelles prévisions d'évolution des dommages, des risques et de mise en œuvre des mesures :
 - Aucune réduction significative des dommages potentiels entre 2020 et 2030 n'est attendue pour HQ_{fréquent} et HQ_{extrême} et pour les quatre enjeux. Pour HQ_{moyen} en revanche, on prévoit une baisse sensible des dommages potentiels pour tous les enjeux. La raison en est les mesures de restauration des digues prévues aux Pays-Bas.
 - La réduction du risque est moins élevée sur la période 2020-2030. Cela est dû au fait que le nombre prévu de mesures d'abaissement des niveaux d'eau le long du Rhin sur la période 2020-2030 est globalement inférieur à celui de 2015-2020. Il convient de tenir compte ici du fait que les mesures planifiées en Allemagne pour abaisser les niveaux d'eau doivent être réalisées pendant cette période précise alors que celles des Pays-Bas l'ont déjà été jusqu'en 2020.

² Dans le texte, le plan international comprenant les plans nationaux est désigné par l'acronyme « PIGRI ».

³ Le risque d'inondation est défini comme le produit des dommages potentiels et de la probabilité d'occurrence d'une inondation. Les dommages potentiels décrivent dans ce cas les valeurs, le nombre ou la quantité de quatre « enjeux » (= « conséquences négatives » selon la terminologie de la DI) qui peuvent être endommagés ou touchés par une inondation : à savoir l'activité économique, la santé humaine, l'environnement et le patrimoine culturel).

- Le programme NL de restauration des digues a pour effet une forte réduction des risques entre 2020 et 2030 pour un scénario HQ_{moyen} (scénario 'best case' si ce programme est intégralement appliqué sur les digues fluviales d'ici 2030). Il permettrait de réduire sensiblement les surfaces inondables au Pays-Bas pour un scénario HQ_{moyen}. Si ces mesures ne sont pas mises en œuvre d'ici 2030, l'évolution des risques sera similaire à celle des scénarios HQ_{fréquent} et HQ_{extrême}. On retiendra qu'il existe déjà un niveau de protection contre des crues de récurrence HQ_{moyen} sur le Rhin supérieur et le Rhin inférieur grâce aux nombreuses mesures mises en œuvre et que la finalisation de mesures supplémentaires n'apportera que des changements mineurs pour la période de référence retenue.
- Analyse de l'efficacité des différentes mesures de gestion des risques d'inondation intégrées dans les calculs et fournies par les États :
 - Réduction moyenne à forte du risque sur la base des mesures nationales communiquées (indicateurs). L'étendue de l'impact des mesures nationales sur la réduction des risques varie en fonction de l'enjeu considéré : les mesures nationales ont un effet prononcé de réduction des risques sur la 'santé humaine' du fait des mesures de mise en sûreté et d'évacuation. L'effet des mesures nationales (indicateurs) est encore significatif sur les enjeux 'activité économique', 'environnement' et 'patrimoine culturel', mais cet effet est plus faible que sur l'enjeu 'santé humaine' ;
 - ⇒ Impact fort des mesures d'abaissement des niveaux d'eau et des mesures de protection visant à réduire les surfaces inondables (dans le cas présent grâce aux restaurations de digues aux Pays-Bas).
 - Au regard des résultats disponibles, on peut conclure par ailleurs que tous les types de mesures (mesures d'abaissement des niveaux d'eau, dispositifs de protection pour réduire les surfaces inondables, mesures/indicateurs nationaux tels que mise en sûreté et évacuation) ont un impact significatif sur l'évolution du risque. Sans ces mesures, les dommages et les risques atteindraient un niveau nettement plus élevé.

Il est important de souligner que l'effet d'une occupation des sols modifiée ou celui d'une évolution des surfaces n'est pas explicitement contenu dans ces résultats, car il n'a été utilisé qu'un seul jeu de données d'occupation du sol (à savoir Corine Land Cover 2018 - CLC 2018) pour les trois années retenues pour l'analyse. La raison de cette décision est que les jeux de données CLC des différentes années (CLC 2006, CLC 2012, CLC 2018) ont été élaborés et traités selon des modes distincts, ce qui influence sensiblement le calcul du risque d'inondation. Les analyses de sensibilité ont toutefois montré qu'une intensification de l'occupation des sols (p. ex. une extension des zones urbaines et industrielles) pouvait mener à une hausse des risques pouvant atteindre env. 15 % (p. ex. pour l'enjeu 'activité économique' sur une période de 12 ans).

De plus, il ne faut pas oublier que les données de base des mesures d'abaissement des niveaux d'eau proviennent de 2010. Les modifications qui ont eu lieu depuis, par ex. celles dues à des mesures supplémentaires prévues ou réalisées ou celles se traduisant par une augmentation du volume de rétention et se répercutant sur l'abaissement des niveaux d'eau et la modification de probabilité d'inondation, ne sont donc pas prises en compte dans les calculs. Ainsi, il est possible que la réduction du risque soit plus forte en 2020-2030 que ce que semble indiquer les prévisions disponibles. Afin d'avoir une vision la plus actuelle possible de la situation, le GE HIRI recommande, au regard des futurs calculs HIRI, de vérifier la mise à jour des calculs du groupe d'experts HVAL (GE HVAL) en matière d'efficacité des mesures d'abaissement des niveaux d'eau.

Remarque : nous rappelons que, de l'avis des États du bassin du Rhin et en conformité avec le PIGRI du DHI Rhin, le meilleur moyen de réduire les dommages et les risques résulte de la mise en œuvre de toute la palette des mesures de gestion du risque d'inondation depuis les mesures non techniques de prévention et de préparation jusqu'aux dispositifs techniques de protection et à la gestion de crise. Il est rappelé également ici qu'un risque résiduel subsiste toujours, également derrière les infrastructures de protection.

Les États du bassin du Rhin ont déjà obtenu des succès importants ces dernières années dans le cadre des efforts accomplis pour abaisser le risque d'inondation (cf. [Bilan de la mise en œuvre du Plan d'Action contre les Inondations dans le cadre du Programme Rhin 2020](#)). Les résultats issus des calculs disponibles montrent cependant que les efforts des États doivent se poursuivre au cours des prochaines années pour atteindre une réduction supplémentaire à l'avenir. Dans le même temps, ils mettent aussi en évidence la solidarité entre les États du bassin du Rhin et les efforts communs pour réduire le risque d'inondation à l'échelle du Rhin. Il convient de rappeler en conclusion qu'une évaluation régulière des progrès est nécessaire dans ce domaine.

1. Introduction

La CIPR a mis au point en 2015 une méthode quantitative innovante et un outil SIG devant permettre d'identifier les risques d'inondation et l'effet de mesures de réduction des risques. L'outil « ICPR FloRiAn » (Flood Risk Analysis) sert à évaluer l'évolution des risques d'inondation sur le Rhin et à vérifier régulièrement les effets de mesures sur le risque d'inondation dans le cadre du [Plan international de gestion des risques d'inondation du district hydrographique international du Rhin](#) et des [PGRI nationaux/régionaux](#) qui y sont reliés⁴.

Le risque d'inondation est défini comme le produit des dommages potentiels et de la probabilité d'occurrence d'une inondation. La DI distingue quatre enjeux : santé humaine, environnement, patrimoine culturel et activité économique. Pour les quatre enjeux, l'examen se focalise sur les conséquences/dommages directs⁵ occasionnés par les inondations.

La [directive communautaire sur la gestion des risques d'inondation \(DI\)](#) est la référence déterminante pour les mesures et les enjeux. L'outil FloRiAn utilise comme données d'entrée des cartes des zones inondables pour des crues de faible, moyenne et forte probabilités (désignées ci-après HQ_{extrême}, HQ_{moyen} et HQ_{fréquent}) (voir [cartes 1 à 4](#) et version actualisée de l'[Atlas du Rhin 2020](#)), les quatre enjeux de la DI (santé humaine, environnement, patrimoine culturel, activité économique) tirés des cartes des risques d'inondation, ainsi que différents types de mesures⁶. Ces types de mesures sont formés à partir de mesures prévues ou réalisées que les États ont recensées et fournies. Leur effet sur l'évolution des dommages et des risques est estimé dans l'outil.

Des calculs sur l'efficacité des mesures en termes de réduction du risque depuis 1995 ont été effectués fin 2015 à l'aide de l'outil ([voir rapports CIPR n^{os} 236 et 237](#)). Les recommandations sur l'utilisation future de l'outil et les améliorations apportées à l'outil prennent également en compte les expériences tirées d'applications externes.

Les nouveaux résultats se basent sur les travaux du groupe d'experts 'Risques d'inondations' de la CIPR (GE HIRI) à partir de 2017 qui ont comme objectif les tâches suivantes mentionnées dans le [mandat du GE HIRI 2018-2021](#) :

- Suivi et évaluation du 1^{er} PGRI 2015-2021
- Analyse préliminaire du 2^e PGRI 2022-2027 sur la base des actuelles prévisions d'évolution des dommages, des risques et de mise en œuvre des mesures
- Analyse de l'efficacité des différentes mesures de gestion des risques d'inondation

Les résultats des calculs jusqu'en 2030 ont été comparés en outre avec le nouvel objectif du programme [Rhin 2040](#) adopté début 2020 (c'est-à-dire une réduction des risques d'au moins 15 % d'ici 2040 par rapport à 2020).

⁴ Dans le texte, le plan international comprenant les plans nationaux est désigné par l'acronyme « PGRI ».

⁵ Les dommages consécutifs, p. ex. ceux dus aux interruptions de production, ne sont donc pas estimés.

⁶ Sur la base de la subdivision en catégories de la DI (voir « [Guidance for Reporting under the Floods Directive \(2007/60/EC\)](#) »)

2. Méthode d'identification des effets des mesures sur le risque d'inondation

Le chapitre 2 présente la méthode de calcul sous forme de l'outil SIG FloRiAn pour les quatre enjeux 'santé humaine', 'environnement', 'patrimoine culturel' et 'activité économique'. Des informations plus détaillées sur la méthode figurent dans les [rapports CIPR n^{os} 236 et 237](#). On renverra au « User Guide » et à la « Technical Reference »⁷ pour l'application précise de la méthode dans la procédure de calcul de l'outil FloRiAn.

2.1 Méthode de calcul

La CIPR a mis au point une **méthode** quantitative **devant permettre d'identifier les risques d'inondation et l'effet des mesures de réduction des risques**. Elle sert à vérifier régulièrement les effets des mesures sur le risque d'inondation dans le cadre du PIGRI du DHI Rhin. La méthode a été mise au point sous forme d'application SIG dans l'outil FloRiAn. Elle peut également être appliquée à d'autres (sous-)bassins à l'aide de l'application SIG FloRiAn si les bases de données requises sont disponibles. La méthode de calcul décrite dans le présent chapitre vaut fondamentalement pour **les quatre enjeux**.

La méthode se fonde sur la DI avec les cartes nationales des zones inondables et des risques d'inondation (CZI et CRI) qui ont été regroupées au niveau du Rhin dans l'[Atlas du Rhin](#) dans le cadre de la CIPR. D'une part, les cartes des zones inondables affichent les profondeurs d'inondation et les surfaces inondables selon des probabilités faibles, moyennes ou élevées. D'autre part, les informations des cartes des risques d'inondation pour les quatre enjeux sont intégrées dans les calculs. La méthode de base est présentée dans la figure 1. Le risque d'inondation est ici défini comme le produit des dommages potentiels et de la probabilité d'inondation. Pour les Pays-Bas, les calculs ont été effectués uniquement pour la partie du bassin du Rhin influencée par le débit fluvial. Les inondations provoquées par la mer n'ont pas été prises en compte.

Pour quantifier l'effet des mesures sur l'évolution du risque d'inondation pour les différents enjeux, des indicateurs ont été définis. Ces indicateurs doivent être représentatifs d'un groupe de mesures et être quantifiables. À partir d'informations bibliographiques et en partie aussi de jugements d'experts, la réduction maximale possible des dommages a été définie pour chacun des indicateurs (cf. rapport CIPR n° 237). Les États ont collecté des données sur le degré de réalisation ou sur la mise en œuvre prévue de ces mesures, ainsi que des indicateurs y relatifs pour les trois horizons définis (2015, 2020 et 2030). Ces données ont été regroupées à l'échelle du Rhin.

Quand est examiné l'effet de mesures sur la réduction du risque général d'inondation, il est important de faire une distinction entre dommages potentiels et probabilité d'inondation. La liste des mesures réalisées et leur effet général supposé sur l'évolution des dommages, sur la probabilité d'inondation et sur le risque d'inondation sont reproduits dans la figure 2, chapitre 2.6, et dans l'annexe 2a/2b.

La CIPR a réalisé des calculs des dommages et du risque pour les quatre enjeux (santé humaine, environnement, patrimoine culturel et activité économique) et pour les horizons 2015, 2020 et 2030 (voir figures 1 et 2). À ces calculs se sont ajoutés ceux de l'effet des différentes mesures.

Le point central du mandat du GE HIRI est l'examen de la question de la modification/réduction dans le temps des dommages et des risques. Les réponses attendues doivent ressortir des résultats de calcul de l'outil FloRiAn.

⁷ Disponible sur demande auprès de la CIPR.

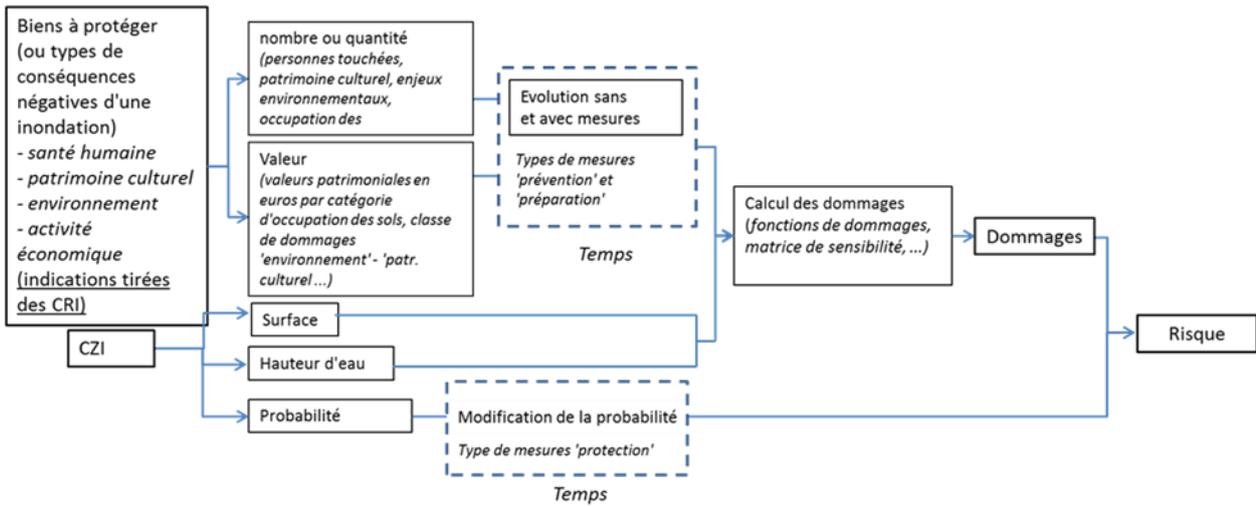


Figure 1 : méthode appliquée à l'analyse des risques et représentation des principales données d'entrée

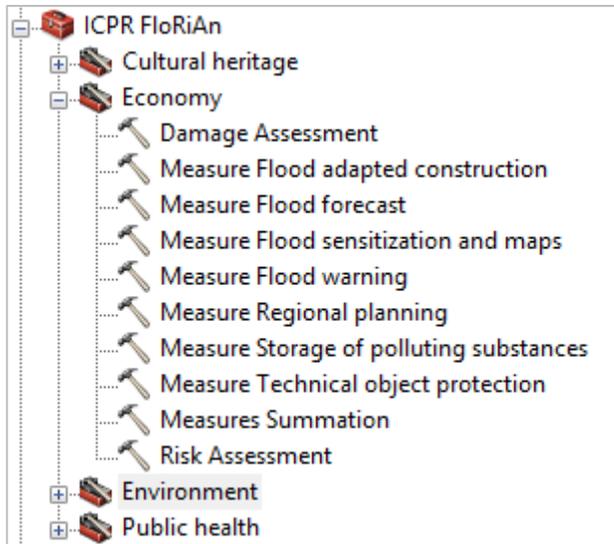
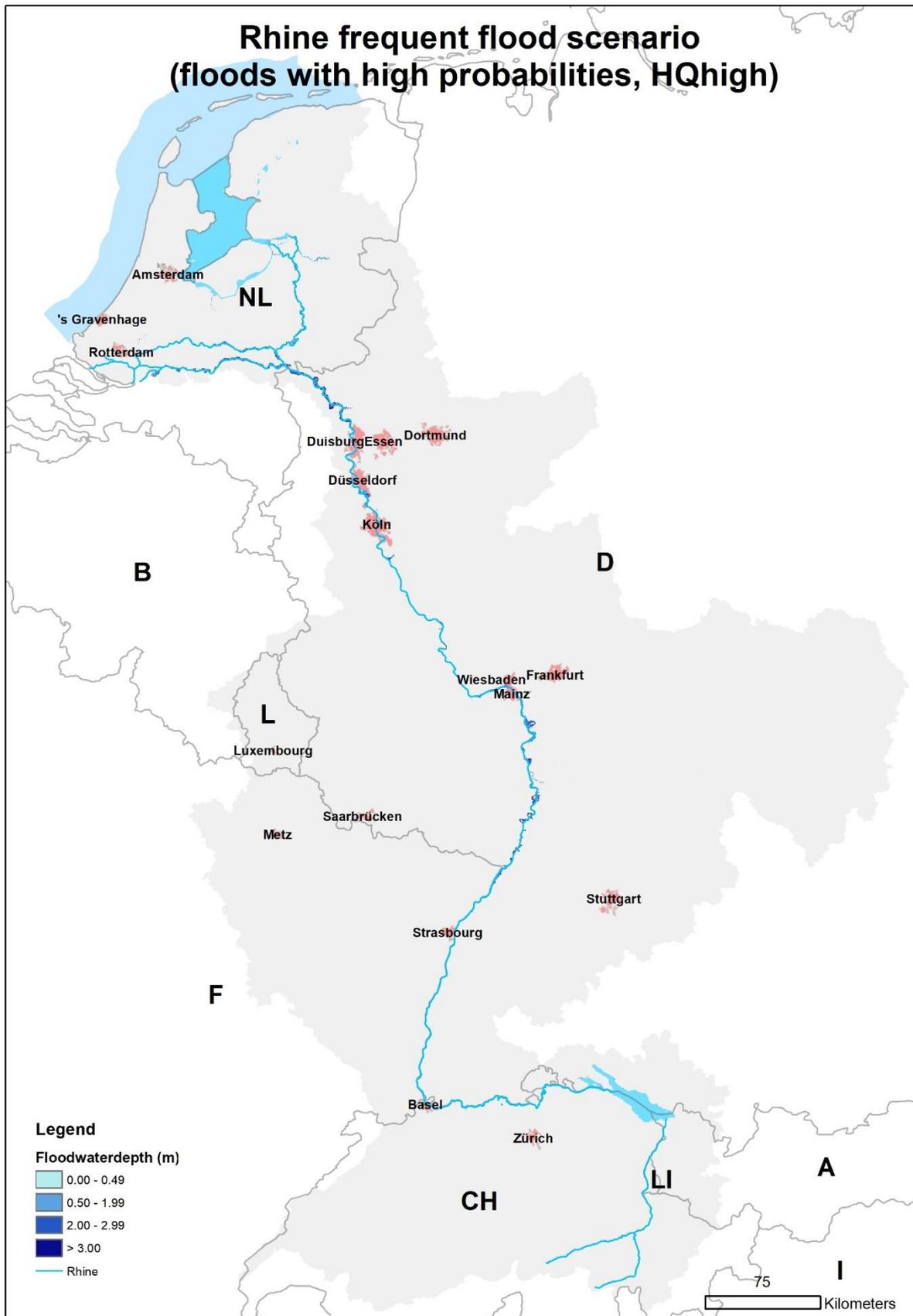
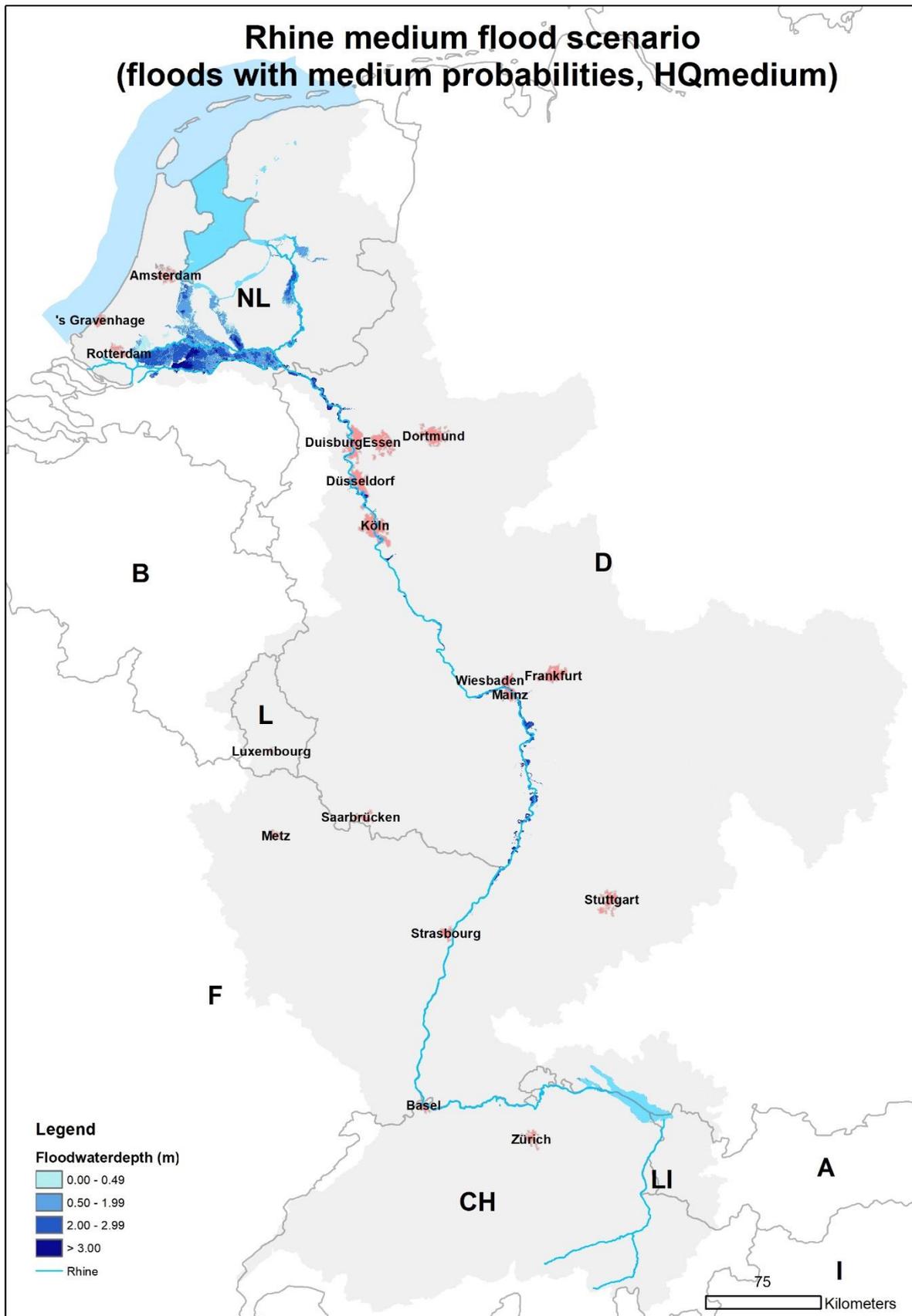


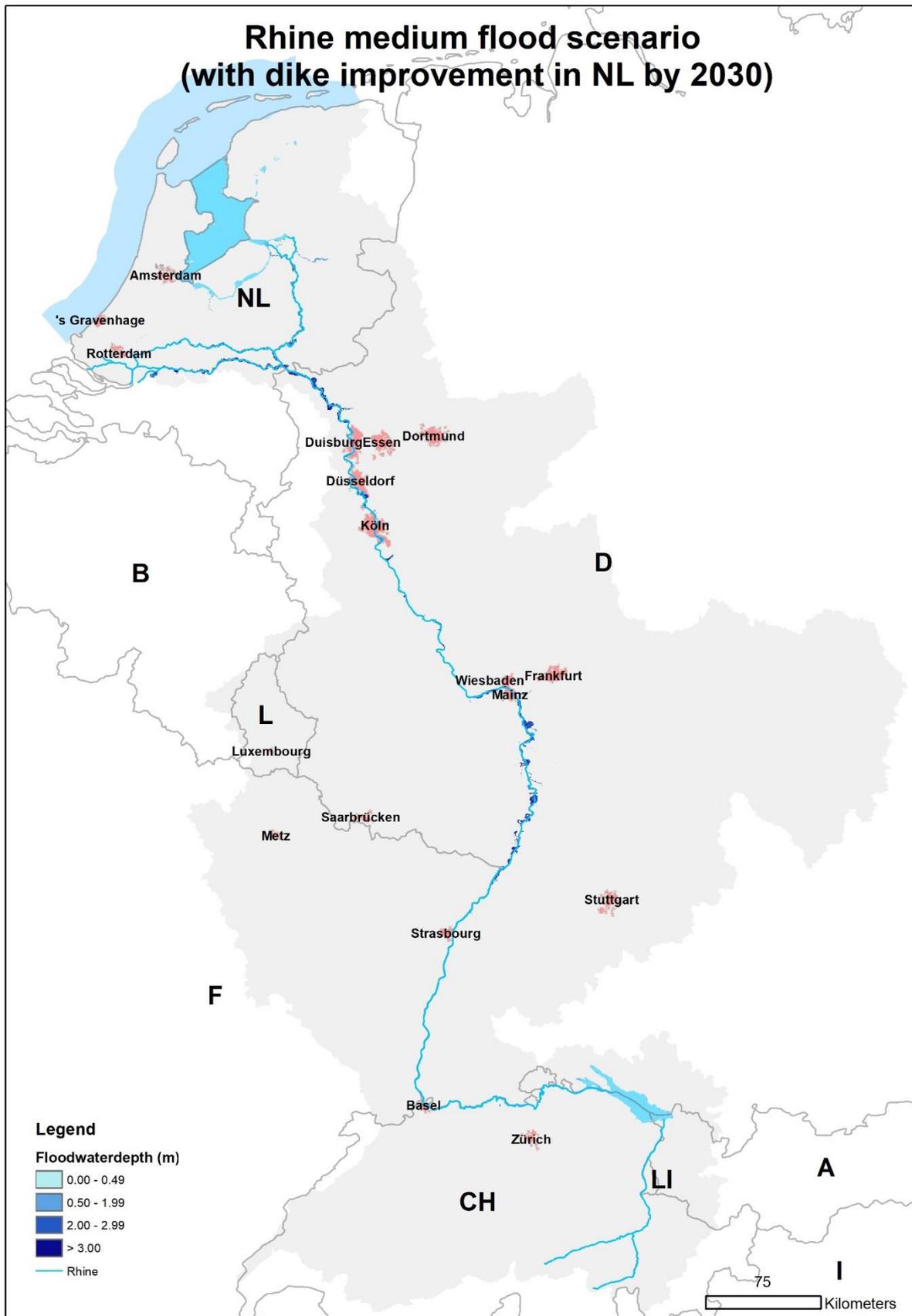
Figure 2 : modules/étapes de calcul de FloRiAn (boîte à outils ArcGIS)



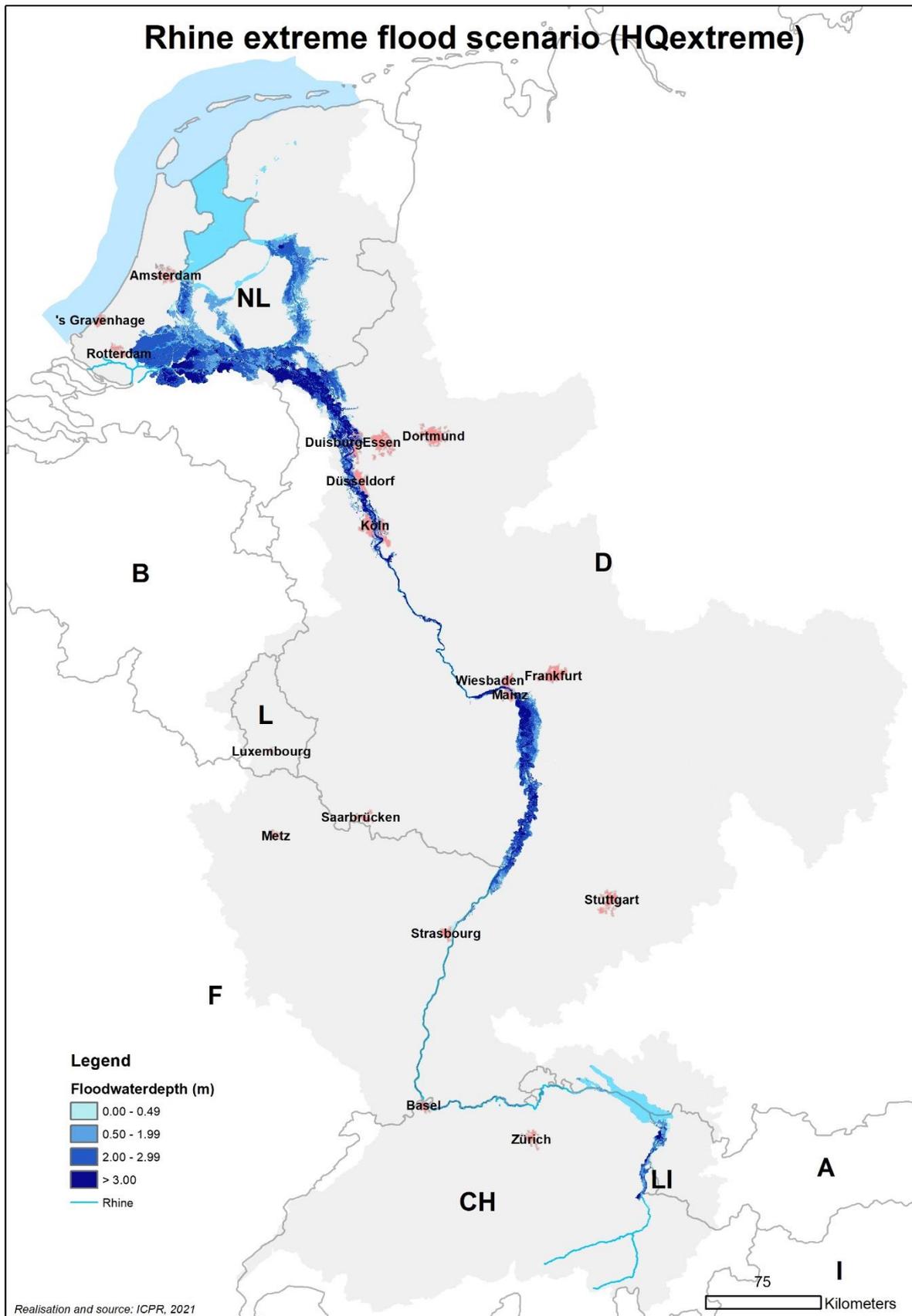
Carte 1 - Risque d'inondation le long du Rhin (surfaces inondables et profondeur d'inondation) pour le scénario d'inondation fréquente (source : Atlas CIPR 2020, adapté pour le GE HIRI)



Carte 2 - Risque d'inondation le long du Rhin (surfaces inondables et profondeur d'inondation) pour le scénario d'inondation moyenne (source : Atlas CIPR 2020, adapté pour le GE HIRI)



Carte 3 - Risque d'inondation le long du Rhin (surfaces inondables et profondeur d'inondation) pour le scénario d'inondation moyenne avec prise en compte du programme NL de restauration des digues (source : Atlas CIPR 2020, adapté pour le GE HIRI)



Carte 4 - Risque d'inondation le long du Rhin (surfaces inondables et profondeur d'inondation) pour le scénario d'inondation extrême (source : Atlas CIPR 2020, adapté pour le GE HIRI)

Observations sur l'optimisation de l'outil et des données d'entrée pour les calculs

Depuis sa création en 2016, l'outil FloRiAn a été développé et perfectionné de manière continue⁸. L'outil FloRiAn et les données requises pour la méthode et les calculs (cf. figure 1 et annexe 3) se distinguent donc de l'outil/des données d'entrée utilisées pour les derniers calculs effectués en 2016 sur les points suivants :

- utilisation de différentes versions ArcGIS (logiciel SIG)
- optimisation de l'outil (amélioration du processus de calcul)⁸
- modifications apportées aux données d'entrée :
 - données d'occupation des sols (de CLC 2006 à CLC 2018) (influence sur l'activité économique et la santé humaine)
 - modifications des données sur les mesures/indicateurs nationaux
 - modifications des données tirées des cartes des zones inondables et des risques d'inondation (= données d'entrée du nouvel Atlas du Rhin 2020) :
 - zones inondables et profondeurs d'inondation (y compris modification des profondeurs d'eau NL pour HQ_{moyen} en 2030 et constitution de quatre classes de profondeur⁹ en remplacement de données continues de profondeur) (cf. cartes 1 à 4)
 - Données sur les enjeux et sur le risque : activité économique, santé humaine (nouvelle méthode de détermination pour 2015/2030, cf. chapitre 2.2.a), patrimoine culturel⁸, environnement
 - modification des valeurs patrimoniales (Liechtenstein - LI) (transposition des valeurs de la Suisse au LI en concertation avec LI) (réduction des dommages/du risque)
 - modification des taux de mise en sûreté/d'évacuation
 - corrections diverses de données

2.2 Santé humaine

La méthode de prise en compte de l'enjeu 'santé humaine' et les étapes de calcul correspondantes sont reproduites dans la figure 3. Les « dommages » correspondent ici au « nombre d'habitants touchés ». Le risque est désigné par le « nombre d'habitants touchés/an ».

Le risque est calculé de la manière suivante :

risque 'santé humaine' = nombre d'habitants touchés non évacués x probabilité
[nombre/an]

⁸ Exception : lors des nouveaux calculs, il a été constaté que le nouvel outil, bien qu'optimisé et livrant des résultats logiques pour les autres enjeux, présentait des résultats illogiques pour l'héritage culturel. Le nouvel outil donnait des valeurs de dommages/risques très proches entre les trois scénarios d'inondation (ainsi qu'avec le scénario supplémentaire HQ_{moyen} pour les Pays-Bas en 2030 avec consolidation des digues, cf. 2.6.2 -B), alors même que les biens culturels affectés diffèrent grandement entre les différents scénarios. Les raisons sont encore à l'étude et proviendraient peut-être d'un léger bug de programmation.

Pour le calcul du patrimoine culturel, il a donc été décidé d'utiliser l'ancienne version de l'outil et de créer quatre différents jeux de données d'entrée comportant les enjeux culturels pour les trois scénarios d'inondation (plus le scénario HQ_{moyen} pour les Pays-Bas avec consolidation des digues d'ici 2030, cf. 2.6.2 - B). Cette approche a permis des résultats logiques qui sont présentés au chapitre 3.

⁹ Remarque : Contrairement à l'ancien Atlas 2015 du Rhin, où étaient disponibles des valeurs de profondeur d'eau continues, les données de profondeur sont déjà réparties en quatre classes dans l'Atlas 2020 du Rhin avec une seule valeur de profondeur par classe (49 cm, 1,99 m ; 2,99 m ; 9,99 m). Ceci peut avoir un impact important sur les résultats, car des valeurs continues de profondeur d'eau (en cm) doivent être utilisées pour réaliser les meilleurs calculs possibles avec FloRiAn.

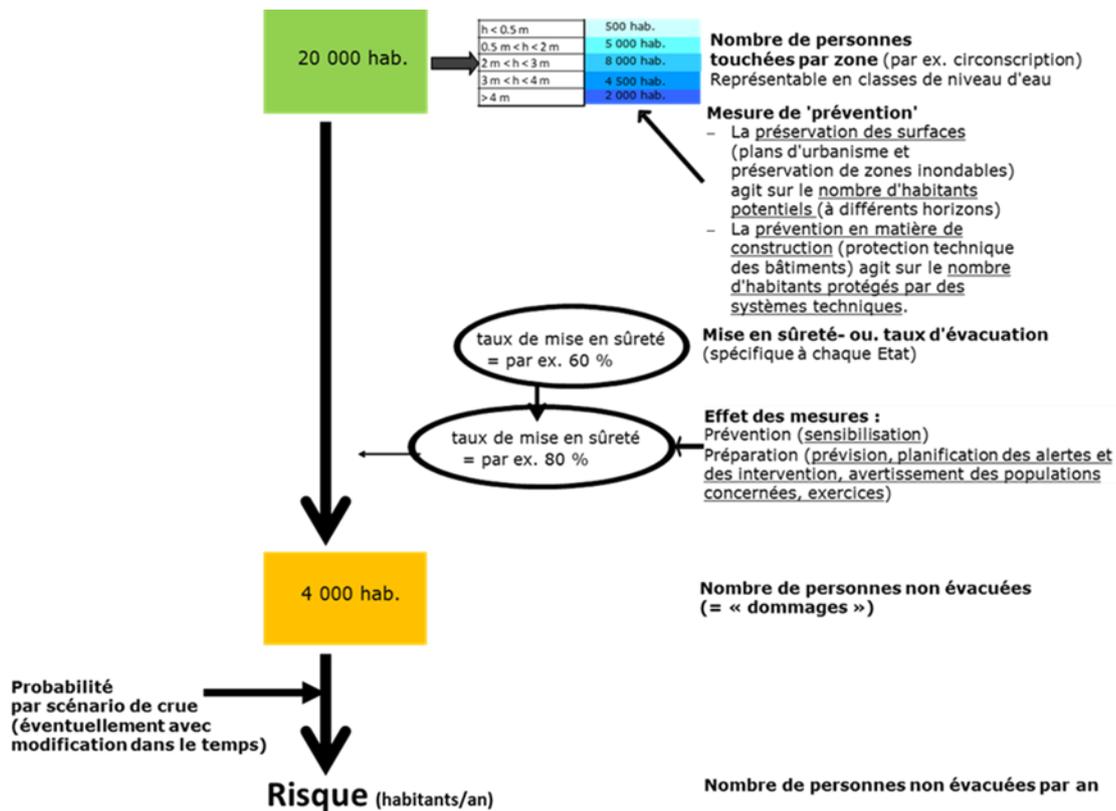


Figure 3 : analyse des risques d'inondation et effet des mesures sur la 'santé humaine'

Indications méthodologiques :

a. Autre détermination du nombre d'habitants touchés

Comme le souligne l'annexe 3, les données d'entrée sur le calcul du nombre d'habitants potentiellement touchés proviennent des cartes des risques d'inondation des États et donc de l'Atlas du Rhin 2020. Contrairement aux anciens calculs HIRI de 2016, il a été fait le choix ici de ne pas utiliser de facteur de croissance/d'évolution démographique pour l'état 2030, voire pour l'état de départ 2015¹⁰. À la place, on a opté pour le processus de détermination suivant pour les habitants touchés :

- **État 2015** : données issues de l'Atlas du Rhin 2015 ou, lorsque les informations n'ont pas pu être validées ou n'étaient pas compréhensibles, utilisation des données de l'Atlas 2020 pour l'état 2015.
- **État 2020** : données de l'Atlas 2020
- **État 2030** : lorsque des données de l'Atlas 2015 étaient disponibles pour 2015, les habitants ont été déterminés pour 2030 selon la formule suivante : $\text{valeur 2030} = \text{valeur 2020 (tirée de l'Atlas 2020)} + [(\text{différence absolue 2020 par rapport à 2015}) \times 2]$
Là où il n'y avait pas de données en 2015, on a utilisé les données de l'Atlas 2020 pour l'état 2030.

Ceci explique pourquoi on constate entre l'état 2015 et l'état 2030 un accroissement ou - même déjà sans effet des mesures - une stagnation du nombre d'habitants touchés.

Remarque : Aux Pays-Bas, dans la situation incluant l'effet de mesures de renforcement des digues et, de ce fait, la réduction des zones inondables de la crue moyenne à l'horizon 2030 (cf. cartes 2 et 3), les habitants touchés par la crue fréquente ont été transposés de $HQ_{\text{fréquent}}$ à HQ_{moyen} (raison : surfaces inondables similaires dans les deux scénarios après les mesures de restauration des digues).

¹⁰ La principale raison en est que l'on dispose désormais, à partir des Atlas du Rhin 2015 et 2020, de véritables données sur les habitants touchés, et que ces données sont en outre plus précises que les facteurs de développement théoriques.

b. Nouvelles indications sur les taux de mise en sûreté/d'évacuation

Comme pour les autres mesures/indicateurs, les États ont indiqué des taux de mise en sûreté/d'évacuation actualisés et distincts (= pourcentage d'habitants pouvant être mis en sûreté ou évacués pendant une crue) (cf. annexe 2b).

2.3 Environnement

La méthode de prise en compte de l'enjeu 'environnement' et les étapes de calcul sont reproduites dans la figure 4. *Remarque* : contrairement aux enjeux 'activité économique' et 'santé humaine', les données d'entrée, c'est-à-dire le nombre/les valeurs des zones protégées et des installations industrielles introduits dans les calculs ne varient pas sur l'axe temps (on prend le même nombre pour 2015, 2020 et 2030).

Cette méthode d'évaluation des risques environnementaux liés aux inondations, qui est propre à la CIPR, part du principe que les dommages occasionnés aux zones de captage d'eau potabilisable, réserves naturelles et zones de protection des oiseaux protégées au titre de la DCE¹¹ ne sont pas générés par la crue proprement dite mais par l'inondation d'installations potentiellement polluantes (installations IED¹², parties d'établissements SEVESO¹³ et stations d'épuration) que cette crue provoque¹⁴. Plus une installation est protégée contre les inondations par des mesures¹⁵, moins le risque est grand que soit touchée une zone de captage d'eau potable et/ou une zone protégée située en aval.

La méthode de calcul (reproduite dans la figure 4) débouche sur une évaluation en trois classes de dommages : « faible », « moyenne » et « élevée », c'est-à-dire sur des indices/points de dommages (plus l'indice est élevé, plus les dommages sont importants). Dans le cadre de la présente étude, les indices de dommages ont été additionnés pour chaque scénario de crue et pour chaque horizon (= indice de dommages additionné).

En multipliant l'indice de dommages additionné par la probabilité d'inondation, on obtient le risque (= indice de dommages additionné par an).

Potentiel de pollution		Annexes		Classes de hauteur d'eau	
1 (faible)				1	h < 0,5 m
2		Installations classées, STEP		2	0,5 m < h < 2 m
3		SEVESO1		3	2 m < h < 3 m
4		SEVESO2		4	3 m < h < 4 m
5 (élevée)				5	> 4 m

Echelle de l'importance écologique		Menace*				
Sensibilité écologique	Type de zone protégée	faible → élevé				
		1	2	3	4	5
faible	Zones de protection des oiseaux dépendant du milieu aquatique, divers (autres enjeux environnementaux non définis)	1	1,5	2	2,5	3
moyen	Masses d'eau de surface (DCE)	1,5	2	2,5	3	3,5
élevé	Zones de protection de l'eau potable et des sources	2	2,5	3	3,5	4

*Menace = (degré de pollution + classes de niveau d'eau)/2

Classe de dommages (CD)	faible	moyenne	élevée

Figure 4 : méthode d'évaluation des dommages pour l'environnement

¹¹ Annexe IV, numéro 1, de la [DCE \(directive 2000/60/CE\)](#) : zones désignées pour le captage d'eau destinée à la consommation humaine, zones de protection des sources, zones Flore/Faune/Habitats (FFH) et zones de protection des oiseaux dépendant du milieu aquatique

¹² Installations selon la [directive 2010/75/UE sur les émissions industrielles \(IED\)](#).

¹³ Parties d'établissements selon la [directive 2012/18/UE](#) (directive Seveso III ou directive sur les accidents majeurs).

¹⁴ Les éventuels dommages occasionnés par l'impact direct d'une inondation sur l'environnement ne sont pas pris en compte dans la présente étude.

¹⁵ Sont uniquement considérées pour l'enjeu 'environnement' les mesures de 'protection technique des bâtiments' et de 'stockage de substances dangereuses pour les eaux adapté aux risques d'inondation' (voir annexe 2a/2b).

2.4 Patrimoine culturel

La méthode de prise en compte de l'enjeu 'patrimoine culturel' et les étapes de calcul sont reproduites dans la figure 5. *Remarque* : contrairement aux enjeux 'activité économique' et 'santé humaine', les données d'entrée, c'est-à-dire le nombre/les valeurs des biens culturels introduits dans les calculs ne varient pas sur l'axe temps (on prend le même nombre pour 2015, 2020 et 2030). Comme il est déjà décrit à la page 14 (annotation 8) et pour des raisons techniques en relation avec l'outil FloRiAn actualisé, un jeu de données spécifique a été utilisé par scénario d'inondation pour les biens culturels dans les récents calculs.

On a fait ici appel à la première version de FLoRiAn.

Les dommages occasionnés aux biens culturels sont estimés sous forme quantitative - mais ne sont pas monétarisés - en combinant l'importance d'un bien culturel donné (patrimoine culturel de l'humanité UNESCO, sites d'intérêt historique, monuments historiques) et la profondeur d'eau. Les mesures (comme pour l'enjeu 'activité économique', voir annexe 2a/2b) contribuent à protéger le patrimoine culturel et à prévenir des dommages.

L'évaluation de la matrice suit les mêmes principes que pour l'enjeu 'environnement'. En multipliant l'indice moyen de dommages additionné sur toutes les classes par la probabilité d'inondation, on obtient le risque (= indice moyen de dommages additionné par an).

Echelle de l'importance culturelle	Echelle de l'impact physique (niveau d'eau)				
	1 h < 0.5 m	2 0.5 m < h < 2 m	3 2 m < h < 3 m	4 3 m < h < 4 m	5 > 4 m
1 importance locale (monuments historiques, autres)	1	1,5	2	2,5	3
2 importance nationale (sites/périmètres urbains classés)	1,5	2	2,5	3	3,5
3 importance internationale (patrimoine culturel de l'humanité UNESCO)	2	2,5	3	3,5	4

Classe de dommages (CD)	faible	moyen	élevé
-------------------------	--------	-------	-------

Figure 5 : matrice d'évaluation des dommages occasionnés aux biens culturels

2.5 Activité économique

La méthode de prise en compte de l'enjeu 'activité économique' et les étapes de calcul correspondantes sont reproduites dans la figure 6.

Les dommages économiques potentiels (directs) sont calculés au moyen des données d'occupation des sols (CLC 2018) et des scénarios de profondeur d'eau pour les trois scénarios d'inondation ([Atlas CIPR 2020 du Rhin](#)), et à l'aide de fonctions de dommages et de valeurs patrimoniales (tirées de l'Atlas CIPR 2001 du Rhin) pour les catégories « zones urbaines », « industrie », « trafic », « agriculture » et « sylviculture ». Dans le cadre des derniers/anciens calculs (cf. rapport CIPR n° 237), les valeurs patrimoniales (= euros/m² pour chaque catégorie d'occupation des sols) ont été adaptées à la situation réelle (dans le temps) au moyen du taux de croissance économique et/ou de l'indice des prix à la consommation¹⁶, ce qui revient à dire que les données d'entrée sont différentes pour les trois horizons (2005, 2020, 2030). Différentes mesures (voir annexe 2a/2b) contribuent à modifier les dommages ou la probabilité.

En multipliant les dommages par la probabilité d'inondation, on obtient le risque (voir chapitre 2.1 et figure 6).

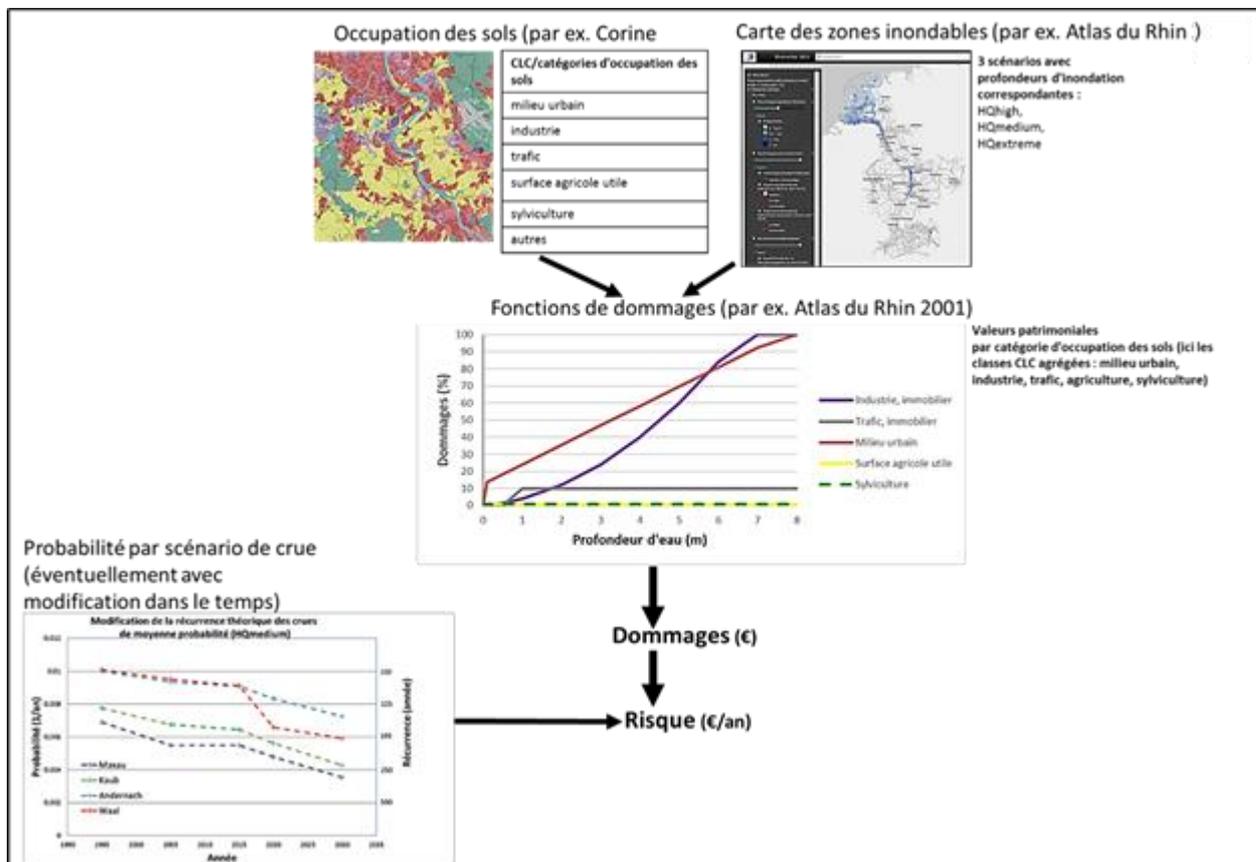


Figure 6 : méthode suivie pour l'analyse du risque d'inondation relatif à l'activité économique

¹⁶ Les valeurs patrimoniales n'ont pas été actualisées dans les présents résultats des calculs.

2.6 Prise en compte de mesures dans les calculs

2.6.1 Généralités

L'impact des mesures est calculé de différentes manières dans l'outil selon les types de mesures ou les types d'indicateurs (impact sur les dommages potentiels ou sur la probabilité) et également selon l'enjeu considéré (santé humaine, environnement, patrimoine culturel et activité économique) :

- Modification du nombre d'habitants sous l'effet d'évacuations en combinaison avec d'autres mesures (enjeu 'santé humaine') (cf. figure 3) ;
- modification de la zone d'impact d'installations potentiellement dangereuses (enjeu 'environnement') ;
- modification des fonctions de dommages consécutivement aux mesures (enjeux 'activité économique' et 'patrimoine culturel') illustrée à titre d'exemple dans la figure 7 ci-après. Ainsi, les valeurs sont abaissées par classes de profondeur d'eau.
- Outre l'effet de mesures individuelles, il existe des interactions entre les mesures. Celles-ci sont décrites dans une matrice de dépendance à la fois pour les zones endiguées et non endiguées. On part du principe que les mesures individuelles déploient leur effet maximal quand elles sont appliquées et calculées avec d'autres mesures (une personne peut p. ex. mieux protéger ses biens si elle a été sensibilisée aux dangers et si les systèmes de prévision et d'alerte des crues fonctionnent bien).

L'effet des mesures de protection technique contre les inondations est présenté ci-après dans le chapitre 2.6.2.

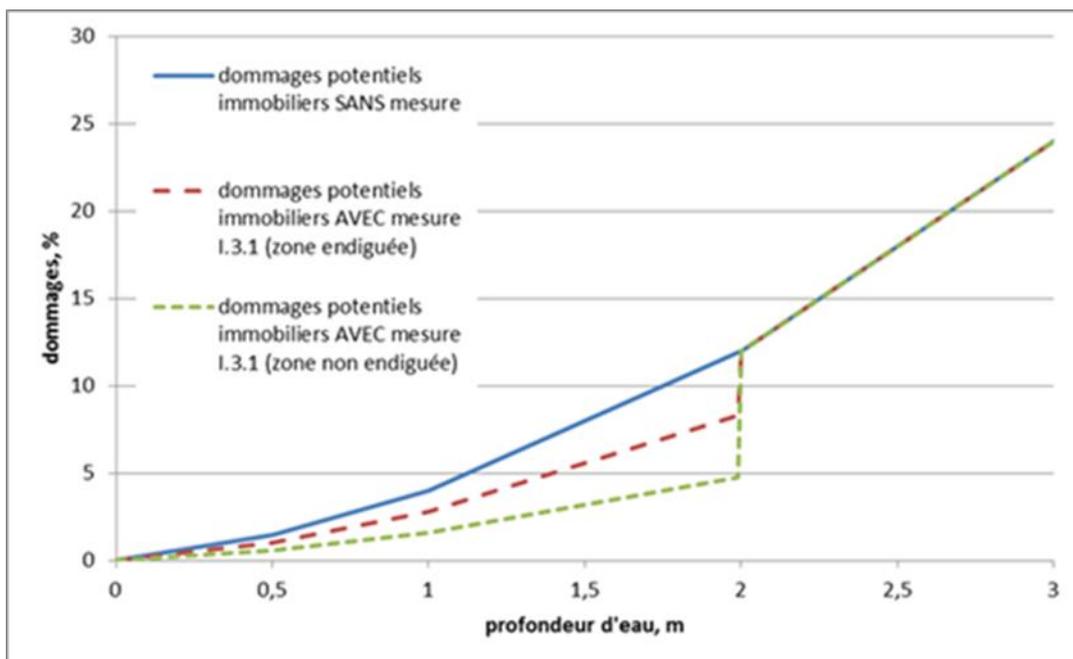


Figure 7 : modification de la fonction des dommages immobiliers (dommages affectant les bâtiments) sous l'effet de la mesure « Prévention en matière de construction » dans les zones endiguées et les zones non endiguées (cf. rapport CIPR n° 237)

2.6.2 Prise en compte de mesures techniques de protection contre les inondations

A. Modification de la probabilité de crue occasionnée par les mesures d'abaissement des niveaux d'eau

Vous trouverez des informations détaillées et graphiques sur les analyses et méthodes de détermination de la modification de la probabilité et sur leur intégration dans l'outil/la méthode dans les rapports CIPR n° 236 et n° 237.

Les mesures d'abaissement des niveaux d'eau ont un effet sur l'évolution du risque en cela qu'elles modifient théoriquement dans les calculs la probabilité d'inondation.

Après avoir évalué l'efficacité des mesures réalisées ou planifiées de réduction des crues¹⁷ sur le Rhin (cf. rapport CIPR n° 199, 2012), la CIPR a mis au point une méthode visant à estimer la modification de la probabilité d'inondation (cf. rapport CIPR n° 229, 2015). Les résultats de la modification de la probabilité d'inondation utilisés dans la méthode HIRI et dans l'outil se présentent sous forme de récurrences modifiées¹⁸ pour les crues de probabilité élevée, moyenne et faible ($HQ_{\text{fréquent}}$, HQ_{moyen} , $HQ_{\text{extrême}}$) pour les trois horizons/états d'aménagement.

Le groupe d'experts 'Validation des crues' (GE HVAL) n'a pas calculé de résultats pour l'horizon 2015 (uniquement 2010, 2020, 2030). Pour cette raison, l'état de réalisation des mesures 2010 a été utilisé pour l'horizon 2015 dans les présents calculs des risques. De plus, il convient de mentionner que les États n'ont pu faire en 2010 qu'une estimation approximative des mesures d'abaissement des niveaux d'eau qu'ils pensaient pouvoir mettre en œuvre de 2020 à 2030. Les modifications qui ont eu lieu depuis ne sont donc pas prises en compte dans les calculs.

Une liste actualisée des mesures déjà réalisées et des mesures prévues figure dans le [2^e PIGRI](#) et dans l'[Atlas CIPR 2020 du Rhin](#).

B. Effet des mesures techniques de protection contre les inondations et des mesures de réduction de la superficie inondable

L'impact de différentes mesures de préparation/prévention (cf. indicateurs en annexe 2a/2b) varie selon que la zone/le tronçon fluvial est protégé/endigué¹⁹ ou non. En règle générale, on estime que l'expérience des personnes vivant dans des zones non endiguées et plus fréquemment touchées par les inondations, et leur capacité individuelle de prévention, sont plus élevées, ce qui augmente l'effet de réduction des dommages potentiels par prise de mesures de préparation et de prévention.

D'autre part, les informations (données d'entrée) sur les surfaces inondables et profondeurs d'inondation provenant de l'Atlas du Rhin 2020 correspondent à différents endroits du Rhin et, selon le scénario, à une situation déjà protégée (p. ex. : seules sont recensées pour AT/LI/CH sur le Rhin alpin les zones inondables correspondant à $HQ_{\text{extrême}}$). Les dommages/risques seraient encore beaucoup plus élevés sans les mesures de protection techniques. Les États riverains du Rhin ont globalement des pourcentages variables de zones inondables, qui influencent le résultat final en matière de dommages et de risques. Il ressort d'une analyse des données de l'Atlas du Rhin que les États suivants ont les plus grandes parts de superficie selon les scénarios suivants :

- $HQ_{\text{extrême}}$: la superficie NL est la plus grande, suivie de DE dans un ordre de grandeur similaire
- HQ_{moyen} : la superficie NL est la plus grande, suivie de DE loin derrière
- HQ_{moyen} (avec restauration des digues NL) : la superficie DE est la plus grande, suivie de NL
- $HQ_{\text{fréquent}}$: la superficie DE est la plus grande, suivie de NL dans un ordre de grandeur similaire

¹⁷ p. ex. mesures de rétention, mesures dans le cadre du programme « Espace pour le fleuve » aux Pays-Bas

¹⁸ On soulignera ici que les mesures d'abaissement des niveaux d'eau à prendre en compte se réfèrent au tronçon du Rhin en aval de Bâle. La modification de la probabilité a donc été calculée à partir de l'échelle de Maxau et jusque dans les bras néerlandais du Rhin.

¹⁹ Les dispositifs de protection contre les inondations entrant en ligne de compte sont présentés dans l'[Atlas 2020 du Rhin](#).

On trouvera dans l'annexe 4 des indications détaillées sur les pourcentages de superficie inondable des États.

Une nouveauté apportée par les présents calculs est l'intégration des mesures de restauration des digues prévues aux Pays-Bas d'ici 2030. Le 1^{er} janvier 2017, les Pays-Bas ont modifié leurs normes s'appliquant aux installations primaires de protection contre les inondations. Les nouvelles normes prennent plus fortement en compte le risque d'inondation (probabilité et conséquences d'une inondation) que par le passé. Toutes ces installations primaires doivent satisfaire aux nouvelles normes d'ici 2050 au plus tard. Il ressort d'une évaluation que de nombreuses installations de protection, notamment celles érigées en milieu fluvial, ne répondent actuellement pas aux nouvelles normes et doivent être renforcées en priorité. Le programme de protection contre les inondations ([Hoogwaterbeschermingsprogramma - HWBP](#), désigné dans le document par la suite « programme de restauration des digues »), est le document de référence pour la priorisation et programmation des mesures de consolidation des digues et il s'étend sans interruption sur les six prochaines années et est complété par un survol des six années suivantes. Pour la période de planification actuelle (2021-2026), un grand nombre de dispositifs de protection est programmé aux Pays-Bas sur les trois bras du Rhin, de sorte qu'on peut s'attendre à une réduction notable de la zone inondable d'ici 2030 dans le cas d'un scénario HQ_{moyen}. Comme on ne sait pas aujourd'hui exactement comment la situation se présentera en 2030, les calculs avec l'outil FloRiAn ont porté sur deux états : un 'worst case' dans lequel l'état des dispositifs de protection est le même que celui de 2020 et un 'best case' dans lequel tous les dispositifs ont été améliorés, de sorte qu'aucune inondation ne submerge plus les zones situées derrière les digues dans un scénario HQ_{moyen} (voir cartes 2 et 3 ainsi que figure 8). Dans l'hypothèse du scénario 'best case', la superficie inondable aux Pays-Bas dans un scénario HQ_{moyen} se réduirait en 2030 de 85,6 % par rapport à 2020. Il a été choisi de réaliser les calculs dans le cas le plus favorable, c'est-à-dire sans modéliser de rupture de digue.

Alors que les anciens calculs utilisaient comme données d'entrée les mêmes zones et profondeurs d'inondation pour tous les horizons, il a été ajouté cette fois-ci une réduction de la zone inondable pour le scénario de crue moyenne à l'horizon 2030 comme conséquence des mesures néerlandaises susmentionnées. Cette mesure a une très grande influence sur l'abaissement des dommages et risques (voir chapitre 3).

Les mesures d'endiguements sont en effet particulièrement efficaces jusqu'à une crue donnée, mais les zones derrière ces digues ne sont toutefois plus protégées en cas de rupture d'ouvrage ou de survenance d'une crue plus importante. Les mesures non techniques de gestion du risque d'inondation telles que la prévention par l'information ou la gestion de crise sont donc particulièrement importantes.

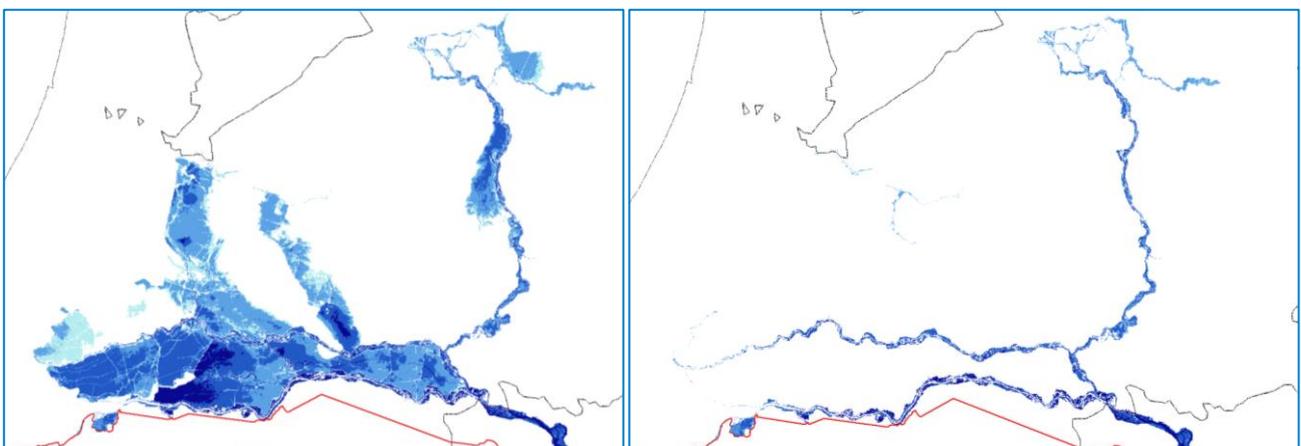


Figure 8 : à gauche : HQ_{moyen} avant programme NL de restauration des digues (2015 et 2020) ; à droite : HQ_{moyen} après programme NL de restauration des digues (2030) (voir également cartes 2 et 3)

3. Résultats

Le chapitre 3 présente les résultats des calculs effectués pour les horizons 2015, 2020 et 2030 pour les quatre enjeux 'santé humaine', 'environnement', 'patrimoine culturel' et 'activité économique'. L'accent principal est mis sur l'évolution dans le temps des dommages potentiels et du risque. Il s'agit ici de l'évolution relative des dommages potentiels et du risque.

3.1. Santé humaine

Le nombre **d'habitants touchés** augmente avec l'intensité / l'extension de l'inondation (de $HQ_{\text{fréquent}}$ à $HQ_{\text{extrême}}$), étant donné que les zones inondables et les profondeurs d'inondation sont plus importantes en cas d'inondations extrêmes qu'en cas d'inondations moyennes et fréquentes (cf. cartes 1 à 4 et annexe 4).

On relève une stagnation ou une réduction minime sur la période 2015-2020 ainsi que 2020-2030 (voir tableau 1 et figure 9). Pour le scénario HQ_{moyen} , il est relevé une très forte réduction du nombre d'habitants touchés en 2030 par rapport à 2015 ou 2020. La raison en sont les mesures prévues aux Pays-Bas pour réduire les zones inondables et les profondeurs d'inondation. On retiendra qu'il existe déjà un niveau de protection contre des crues de récurrence HQ_{moyen} sur le Rhin supérieur et le Rhin inférieur grâce aux nombreuses mesures mises en œuvre et que la finalisation de mesures supplémentaires n'apportera que des changements mineurs pour la période de référence retenue. Ceci signifie que sans les mesures de restauration des digues prévues aux Pays-Bas, le nombre d'habitants touchés par un scénario HQ_{moyen} stagne ou n'est que faiblement abaissé sur la période 2015-2030 et 2020-2030.

Tableau 1 : évolution des dommages pour la santé humaine

Evolution des personnes touchées après mise en œuvre de toutes les mesures (%)			
	Période totale	1. PGRI	2. PGRI
	2015-2030	2015-2020	2020-2030
$HQ_{\text{fréquent}}$ avec mesures	-2	-2	-1
HQ_{moyen} avec mesures (avec restauration des digues NL 2030)	-99	-2	-99
HQ_{moyen} avec mesures (sans restauration des digues NL 2030)	-2	-2	0
$HQ_{\text{extrême}}$ avec mesures	-4	-2	-1

Aide à la lecture de la figure 9 : Ce graphique montre pour les trois années de référence (2015, 2020, 2030) les valeurs de dommages (ici plus particulièrement, le « nombre d'habitants affectés ») calculées sans effet des mesures (= ligne en pointillés) ou avec prise en compte des mesures (= ligne continue). Et ceci respectivement pour quatre types de scénarios de crues (HQ_{fréquent}, HQ_{moyen} sans prise en compte en 2030 de l'amélioration des digues néerlandaises, HQ_{moyen} avec prise en compte en 2030 de l'amélioration des digues néerlandaises, HQ_{extrême}). On rappelle ici que - contrairement aux risques, cf. graphique 10 - le calcul de dommages se fait sans inclusion de la probabilité d'inondation et, de ce fait, sans l'influence des mesures d'abaissement des niveaux d'eau.

Le graphique peut être examiné sous deux angles :

- Examen vertical par année : Ceci montre la réduction des dommages du fait de la réalisation de mesures, donc une comparaison entre la situation avec et sans prise de mesures. Ainsi, plus de 4,5 millions d'habitants seraient touchés en 2020 en cas de HQ_{extrême} sans mise en œuvre des mesures. Avec mise en œuvre des mesures, ce chiffre ne serait plus que d'environ 750 000 si une crue de telle probabilité d'occurrence se produisait en 2020.
- Examen horizontal des tendances d'évolution dans le temps : ceci montre l'évolution des dommages de 2015 à 2030. Ici, le nombre d'habitants touchés passe d'env. 750 000 en 2015 à env. 730 000 en 2020 en situation de HQ_{extrême}.

Remarque : les graphiques suivent le même modèle pour les quatre enjeux ainsi que pour les « dommages » et les « risques ». Cette aide à la lecture vaut donc pour tous les enjeux.

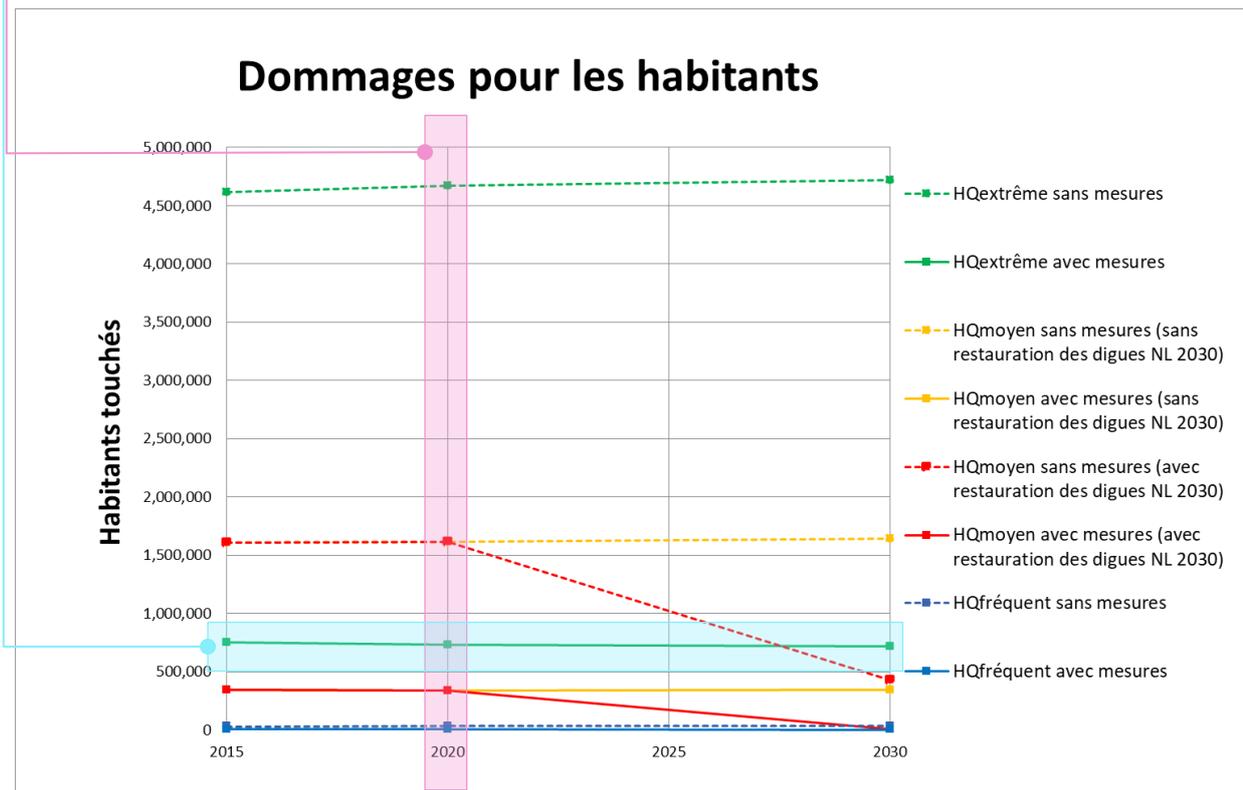


Figure 9 : Évolution du nombre d'habitants touchés par les inondations (avec et sans mesures, de même qu'avec et sans restauration NL des digues).

Le **risque** est exprimé par l'unité « personnes touchées/an ». Il baisse sensiblement sur la période 2015-2020 (jusqu'à - 44 %), notamment du fait de l'impact des mesures d'abaissement des niveaux d'eau (voir tableau 2 et figure 10). C'est le cas pour la situation sans ou avec impact de mesures (indicateurs) (résultats similaires à ceux du rapport CIPR n° 236, 2016). Sur la période 2020-2030, la réduction du risque est inférieure (- 18 %) à celle observée entre 2015 et 2020.

Cette plus faible réduction du risque sur la période 2020-2030 est due au fait qu'un plus grand nombre de nouvelles mesures de rétention supplémentaires a été pris en compte entre 2015 et 2020 par rapport à la période 2020-2030 (voir chapitre 2). Il convient de tenir compte ici du fait que les mesures planifiées pour abaisser les niveaux d'eau sur le Rhin supérieur et le Rhin inférieur doivent être réalisées pendant cette période précise alors que celles des Pays-Bas l'ont déjà été jusqu'en 2020.

Avec le scénario HQ_{moyen}, on obtient une réduction très importante de 98 % entre 2020 et 2030, compte tenu du programme de restauration des digues aux Pays-Bas. Sans programme NL de restauration des digues, on obtiendrait une réduction des risques de 6 %.

Tableau 2 : Évolution du risque pour la santé humaine

Évolution du risque pour les habitants touchés (%)			
	Période totale	1 ^{er} PGRI	2 ^e PGRI
	2015-2030	2015-2020	2020-2030
HQ _{fréquent} avec mesures	-33	-31	-2
HQ _{moyen} avec mesures (avec restauration des digues NL 2030)	-99	-39	-98
HQ _{moyen} avec mesures (sans restauration des digues NL 2030)	-43	-39	-6
HQ _{extrême} avec mesures	-54	-44	-18

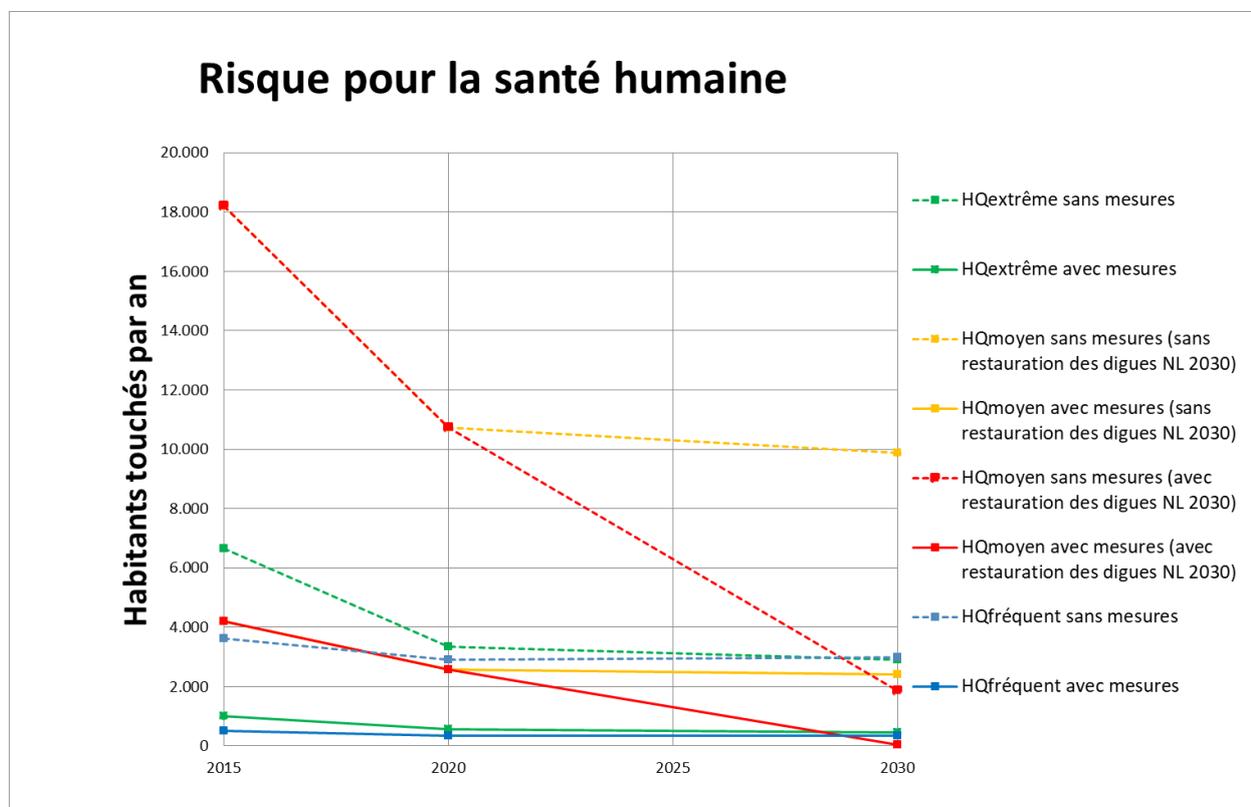


Figure 10 : Probabilité d'exposition au risque avec et sans mesures (habitants touchés/an) (= risque)

Remarque sur **l'analyse de l'efficacité** des mesures ci-dessous²⁰ :

Nous nous concentrons ci-dessous sur l'analyse de l'efficacité de différents types de mesures qui sont décrites au chapitre 2.6. Les mesures de réduction des dommages (mesures nationales, appelées « indicateurs », et les mesures néerlandaises de consolidation des digues, appelées « mesures de réduction des zones inondables ») peuvent être analysées en fonction de leur efficacité chaque année. On compare ensuite la situation avec et sans mesures.

Les effets des mesures d'abaissement des niveaux d'eau, qui provoquent des différences en matière de probabilité d'inondation et qui influencent donc directement le risque, sont étudiés au fil du temps, c'est-à-dire par comparaison entre les différentes années.

Sur la base de la figure 10, l'**efficacité des mesures** sur l'enjeu 'santé humaine' se résume comme suit :

- Grande influence des mesures d'abaissement des niveaux d'eau (réduction de la probabilité), exemple : réduction du risque jusqu'à 44 % (HQ_{extrême} entre 2015 et 2020).
- Très grande influence des mesures de réduction des zones inondables (dans notre cas, mesures NL de consolidation des digues), exemple : Réduction du risque de 98 % pour HQ_{moyen} entre 2020 et 2030.
- Grande influence des mesures/indicateurs nationaux (en particulier le taux de mise en sûreté/d'évacuation) (voir figure 10 par année, c'est-à-dire avec référence à une année considérée avec et sans mesures) : réduction du risque jusqu'à 88 % dans les scénarios HQ_{fréquent} et HQ_{extrême} ou, dit en d'autres termes et à titre d'exemple pour 2020 et un HQ_{fréquent}, une réduction du risque passant d'env. 3 000 habitants touchés sans mesures à env. 350 avec mesures.

²⁰ cette remarque vaut pour les 4 enjeux

3.2. Environnement

Pour l'enjeu 'environnement', on constate au niveau des **dommages** que l'indice de dommages additionné²¹ stagne entre 2015 et 2020, sauf pour HQ_{fréquent} (très légère baisse en raison de mesures améliorées en DE en 2020 par rapport à 2015 ; les autres États ont communiqué les mêmes mesures pour les trois années d'analyse) (cf. tableau 3 et figure 11). La même situation est constatée entre 2020 et 2030 pour les deux scénarios HQ_{fréquent} et HQ_{extrême}. Pour le scénario HQ_{moyen}, on relève cependant entre 2020 et 2030 une réduction très importante des dommages potentiels en raison du programme de restauration des digues prévu aux Pays-Bas. Sans prise en compte de ce programme, les dommages potentiels stagneraient pour l'environnement, même dans le scénario HQ_{moyen}.

Tableau 3 : évolution des dommages pour l'environnement

Modification relative du dommage (%)			
	Période globale	1 ^{er} PGRI	2 ^e PGRI
	2015-2030	2015-2020	2020-2030
HQ _{fréquent} avec mesures	-2	-2	0
HQ _{moyen} avec mesures (avec restauration des digues NL 2030)	-92	0	-92
HQ _{moyen} avec mesures (sans restauration des digues NL 2030)	0	0	0
HQ _{extrême} avec mesures	0	0	0

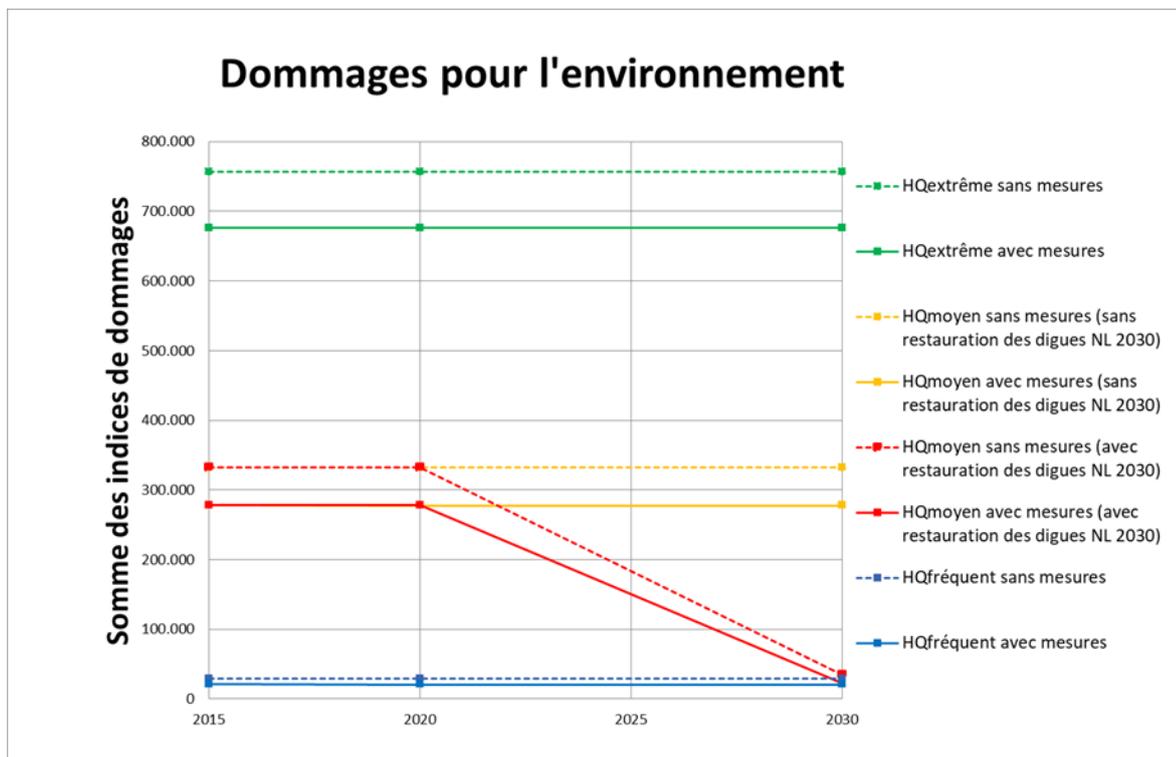


Figure 11 : évolution des dommages potentiels pour l'environnement (indice de dommages additionné)

²¹ Indice de dommages additionné = somme des dommages environnementaux toutes classes de dommages confondues

Pour l'enjeu 'environnement', le **risque** est similaire à celui déterminé pour l'enjeu 'santé humaine' (cf. tableau 4 et figure 12). Sur l'ensemble du Rhin, le risque baisse plus fortement entre 2015 et 2020 qu'entre 2020 et 2030 du fait des mesures d'abaissement des niveaux d'eau. Dans le scénario HQ_{moyen} , on note une baisse significative du risque sur la période 2020-2030. La raison en est le programme de restauration des digues prévu aux Pays-Bas. Sans prise en compte de ce programme, le risque ne baisserait que de manière minimale dans le scénario HQ_{moyen} .

Tableau 4 : évolution du risque pour l'environnement

Modification relative du risque (%)			
	Période globale	1 ^{er} PGRI	2 ^e PGRI
	2015-2030	2015-2020	2020-2030
$HQ_{fréquent}$ avec mesures	-51	-49	-3
HQ_{moyen} avec mesures (avec restauration des digues NL 2030)	-96	-44	-93
HQ_{moyen} avec mesures (sans restauration des digues NL 2030)	-48	-44	-8
$HQ_{extrême}$ avec mesures	-59	-51	-17

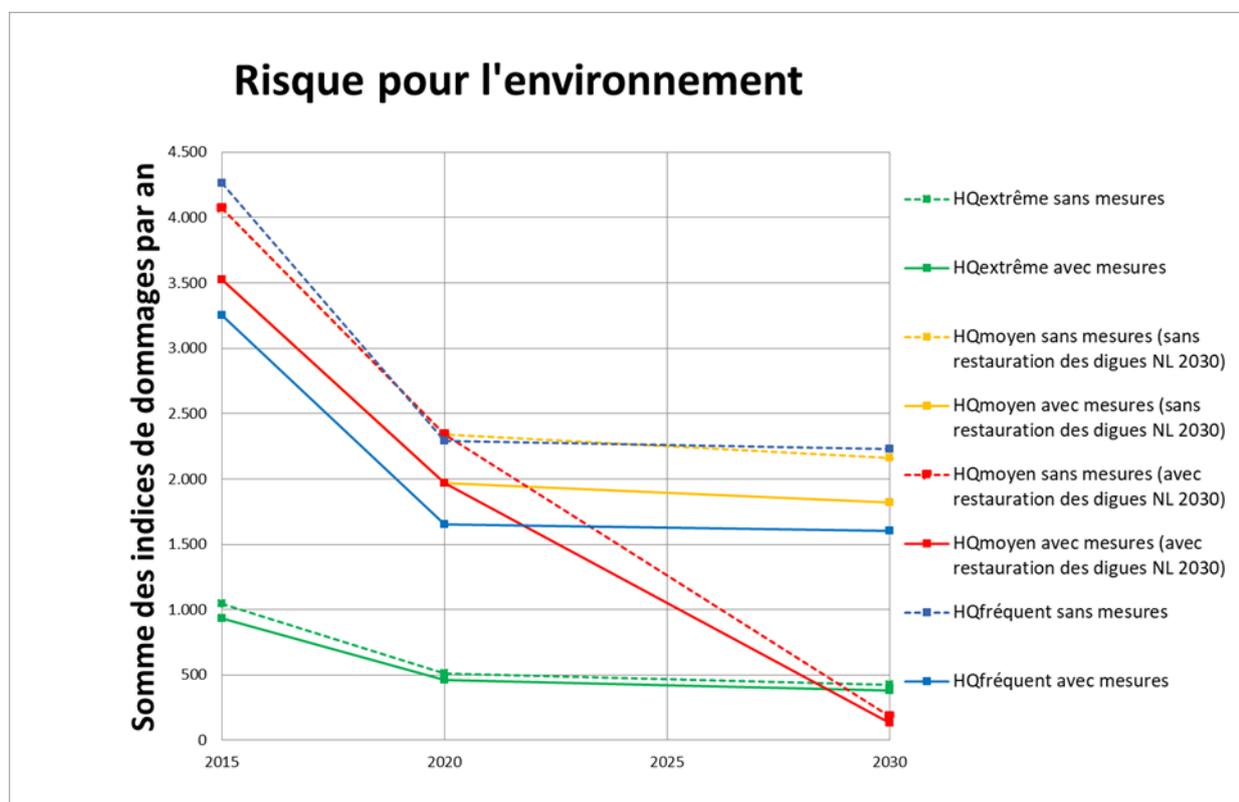


Figure 12 : évolution du risque pour l'enjeu 'environnement' pour les trois scénarios (avec et sans mesures) (toutes classes de dommages confondues).

L'**efficacité des mesures** sur l'enjeu 'environnement' se résume comme suit :

- Grande influence des mesures d'abaissement des niveaux d'eau (réduction de la probabilité), exemple : réduction du risque jusqu'à 51 % ($HQ_{extrême}$ entre 2015 et 2020).
- Très grande influence des mesures de réduction des zones inondables (p. ex. mesures NL), exemple : réduction du risque de 93 % pour HQ_{moyen} entre 2020 et 2030
- Influence relativement grande des mesures « Indicateurs nationaux » (voir figure 12 par année) : Réduction du risque de 10 % à 28 % pour tous les scénarios de crue

3.3. Patrimoine culturel

Remarque : Comme il est déjà décrit à la page 14 (annotation 8) et pour des raisons techniques en relation avec l'outil FloRiAn actualisé, un jeu de données spécifique a été utilisé par scénario d'inondation pour les biens culturels dans les récents calculs. On a fait ici appel à la première version de FLoRiAn.

Pour l'enjeu 'patrimoine culturel', il ressort des calculs que l'indice de dommages additionné²² - c'est-à-dire les **dommages** - affiche une réduction minimale d'env. 1 % entre 2015 et 2020 (voir tableau 5 et figure 13). Sur la période 2020-2030, l'évolution des dommages potentiels est identique à celle des autres enjeux : Pas de modification des dommages potentiels pour HQ_{moyen} et HQ_{extrême}, mais réduction très importante des dommages potentiels pour HQ_{moyen} (raison : programme NL de restauration des digues prévu). Sans prise en compte de ce programme, les dommages potentiels stagneraient entre 2020 et 2030, même dans le scénario HQ_{moyen}.

Tableau 5 : évolution des dommages pour le patrimoine culturel

Modification relative du dommage (%)			
	Période totale	1 ^{er} PGRI	2 ^e PGRI
	2015-2030	2015-2020	2020-2030
HQ _{fréquent} avec mesures	-2	-1	0
HQ _{moyen} avec mesures (avec restauration des digues NL 2030)	-87	-1	-87
HQ _{moyen} avec mesures (sans restauration des digues NL 2030)	-1	-1	0
HQ _{extrême} avec mesures	-2	-1	0

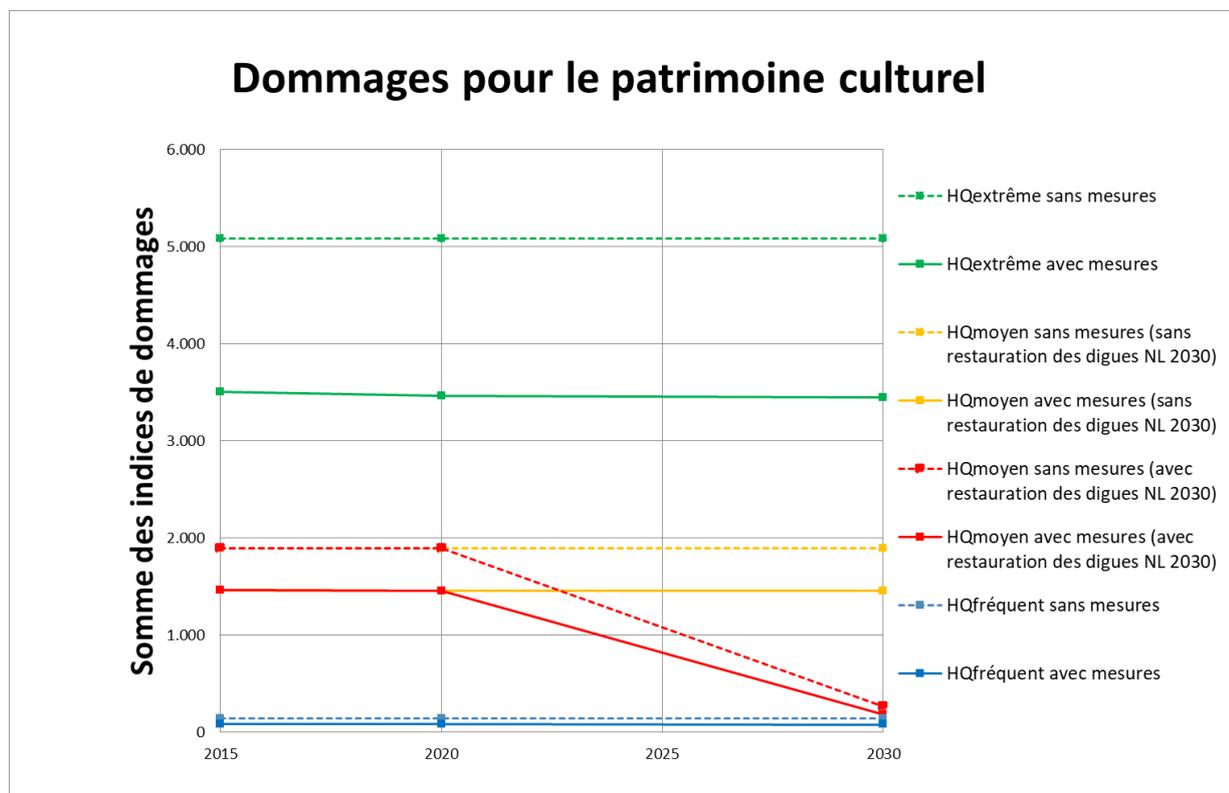


Figure 13 : évolution des dommages culturels potentiels (indice de dommages additionné)

²² Somme des indices de dommages = somme des dommages culturels toutes classes de dommages confondues

Sur l'ensemble du Rhin, le **risque** pour l'enjeu 'patrimoine culturel' baisse plus sensiblement entre 2015 et 2020 qu'entre 2020 et 2030 du fait des mesures d'abaissement des niveaux d'eau (cf. tableau 6 et figure 14).

Tableau 6 : évolution du risque pour le patrimoine culturel

Modification relative du risque (%)			
	Période totale	1 ^{er} PGRI	2 ^e PGRI
	2015-2030	2015-2020	2020-2030
HQ _{fréquent} avec mesures	-53	-53	0
HQ _{moyen} avec mesures (avec restauration des digues NL 2030)	-95	-47	-90
HQ _{moyen} avec mesures (sans restauration des digues NL 2030)	-53	-47	-10
HQ _{extrême} avec mesures	-50	-50	0

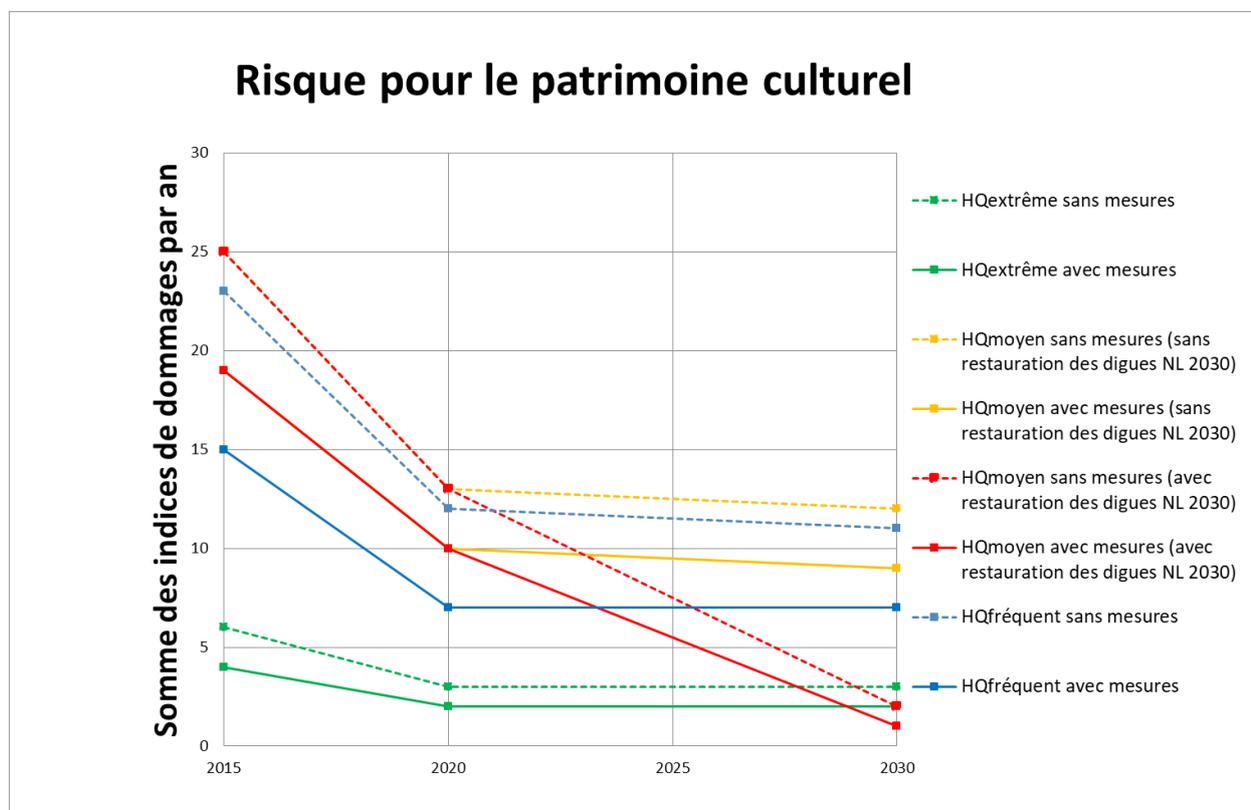


Figure 14 : évolution du risque pour l'enjeu 'patrimoine culturel' (indice moyen de dommages additionné par an toutes classes de dommages confondues)

L'**efficacité des mesures** sur l'enjeu 'patrimoine culturel' se résume comme suit :

- Grande influence des mesures d'abaissement des niveaux d'eau (réduction de la probabilité), Exemple : réduction du risque d'env. 50 % pour tous les scénarios d'inondation entre 2015 et 2020
- Très grande influence des mesures de réduction des surfaces inondables (programme NL de restauration des digues), exemple : réduction du risque de 90 % pour HQ_{moyen} entre 2020 et 2030
- Influence moyenne à grande des mesures « Indicateurs nationaux » (voir figure 14 par année) : Réduction du risque de 24 % à 50 % pour tous les scénarios de crue

3.4 Activité économique

Les résultats suivants sur les **dommages** économiques sont à mettre en relief (cf. tableau 7 et figure 15) :

- Les dommages potentiels sont les plus importants pour le scénario HQ_{extrême}, ceci s'explique par le fait que la superficie inondée par un événement extrême est la plus étendue.
- Les dommages potentiels (sans et avec mesures) augmentent avec le temps (jusqu'à 14 % pour HQ_{moyen} en 2030 sans restauration des digues NL). Ceci est dû à la hausse des valeurs patrimoniales au fil du temps du fait de la croissance économique. Les mesures n'arrivent donc pas ici à renverser la tendance de croissance des dommages. Sans les mesures, cette tendance à la hausse serait toutefois encore plus marquée.
- Si l'on prend en compte le programme NL de restauration des digues, le scénario HQ_{moyen} fait apparaître une réduction très importante des dommages potentiels sur la période 2020-2030. Sans programme de restauration des digues aux Pays-Bas, on note une hausse des dommages potentiels, même pour le scénario HQ_{moyen}. À ce propos, il convient de rappeler que dans plusieurs domaines déjà, une protection contre HQ_{moyen} a été atteinte.
- Si l'on considère individuellement chaque année (cf. figure 15, par année), les dommages potentiels peuvent être nettement abaissés par les mesures « indicateurs nationaux » (dans tous les scénarios de 20 à 36 %, et même de 53 % avec programme NL de restauration des digues).

Tableau 7 : évolution des dommages pour l'activité économique

Modification relative du dommage (%)			
	Période globale	1 ^{er} PGRI	2 ^e PGRI
	2015-2030	2015-2020	2020-2030
HQ _{fréquent} avec mesures	12	2	10
HQ _{moyen} avec mesures (avec restauration des digues NL 2030)	-90	8	-90
HQ _{moyen} avec mesures (sans restauration des digues NL 2030)	23	8	14
HQ _{extrême} avec mesures	14	4	10

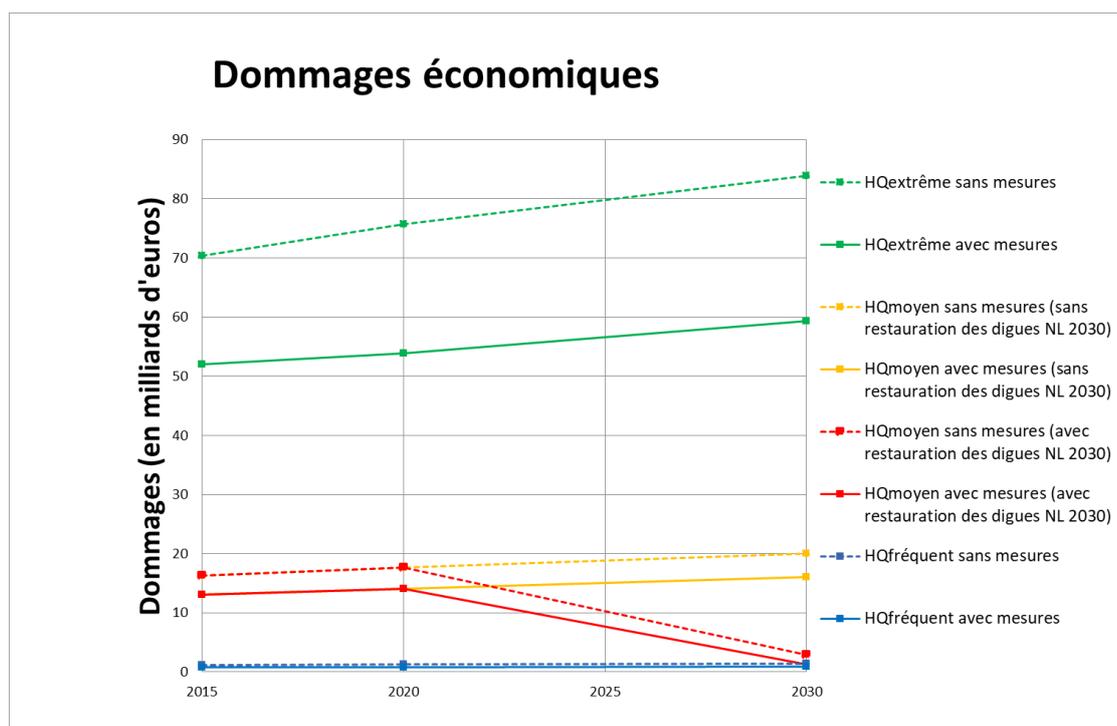


Figure 15 : ordre de grandeur de l'évolution des dommages dans le temps pour l'enjeu 'activité économique' (en milliards d'euros)

Tableau 8 : évolution du risque pour l'enjeu 'activité économique'

Modification relative du risque (%)			
	Période globale	1 ^{er} PGRI	2 ^e PGRI
	2015-2030	2015-2020	2020-2030
HQ _{fréquent} avec mesures	-28	-28	0
HQ _{moyen} avec mesures (avec restauration des digues NL 2030)	-94	-41	-90
HQ _{moyen} avec mesures (sans restauration des digues NL 2030)	-39	-41	3
HQ _{extrême} avec mesures	-44	-36	-12

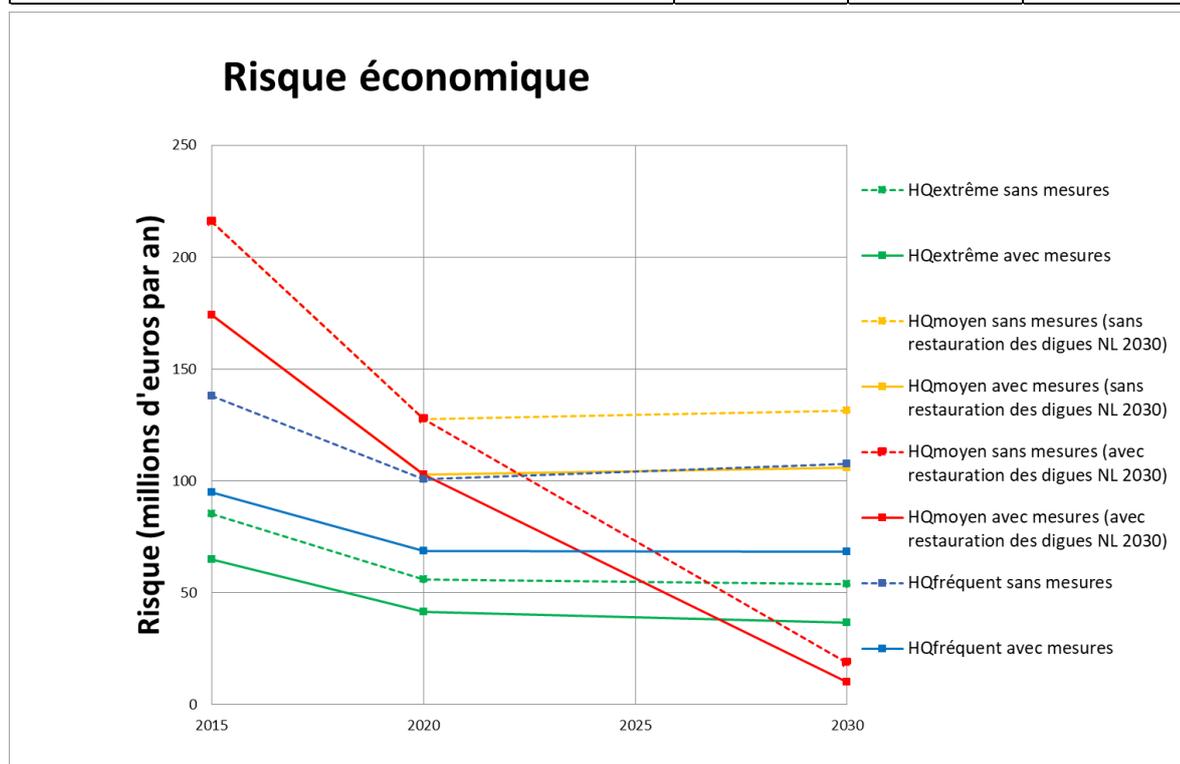


Figure 16 : évolution du risque pour l'enjeu 'activité économique' dans le temps (en millions d'euros/an)

On note pour l'enjeu 'activité économique', comme pour les autres enjeux également, une nette baisse du **risque** sur la période 2015-2020 (comprise entre 28 % et 41 %) (voir tableau 8 et figure 16). La raison en est l'impact des mesures d'abaissement des niveaux d'eau sur l'ensemble du Rhin.

On note uniquement une légère réduction du risque entre 2020 et 2030 pour le scénario HQ_{extrême} (12 %) et, en revanche, une très forte réduction du risque pour le scénario HQ_{moyen} (90 %), à condition que soient réalisées les mesures de restauration des digues prévues aux Pays-Bas. Si la restauration des digues aux Pays-Bas ne peut pas être réalisée comme prévu, le risque augmentera légèrement dans le scénario HQ_{moyen} également. On relève aussi pour HQ_{fréquent} une stagnation du risque. Raison de la stagnation/hausse du risque dans quelques scénarios : les mesures (y compris celles d'abaissement des niveaux d'eau) n'arrivent pas à inverser la tendance à la hausse des dommages sur l'axe temps bien qu'elles la freinent très nettement, car la hausse du risque attendue serait sensiblement plus prononcée sans mise en œuvre des mesures.

L'**efficacité des mesures** sur l'enjeu 'activité économique' se résume comme suit :

- Grande influence des mesures d'abaissement des niveaux d'eau (réduction de la probabilité), exemple : réduction du risque de 41 % pour HQ_{moyen} entre 2015 et 2020

- Très grande influence des mesures de réduction des surfaces inondables (programme NL de restauration des digues), exemple : réduction du risque de 90 % pour HQ_{moyen} entre 2020 et 2030
- Influence moyenne des mesures de préparation et de prévention (« indicateurs nationaux ») (voir figure 16 par année) sur les dommages et par conséquent sur le risque : réduction du risque dans tous les scénarios de 19 % à 36 %, et même de 45 % avec restauration des digues.

3.5. Évaluation au regard des PIGRI

Ce chapitre apporte des réponses/éléments d'évaluation aux questions posées dans le mandat à partir des résultats présentés au chapitre 3.

a) Suivi et évaluation du 1^{er} PIGRI 2015-2021

Question

Les mesures mises en œuvre jusqu'en 2020 (ou 2021) au niveau national font-elles apparaître une réduction des dommages potentiels et des risques ?

Résultats

- Les résultats montrent une baisse importante du risque entre 2015 et 2020 pour tous les enjeux. Raison : sur la période comprise entre 2015 et 2020, de nombreuses mesures d'abaissement des niveaux d'eau ont été mises en œuvre sur l'ensemble du Rhin, ce qui s'est traduit par une réduction du risque d'inondation. Bien que dans une mesure moindre, les mesures/indicateurs nationaux ont eu aussi un impact sur le risque du fait de leur effet sur les dommages.
- Les résultats montrent les évolutions suivantes des dommages potentiels entre 2015 et 2020, compte tenu des mesures/indicateurs nationaux :
 - dommages potentiels constants pour l'enjeu 'santé humaine'
 - dommages potentiels constants pour l'enjeu 'environnement'
 - dommages potentiels constants pour l'enjeu 'patrimoine culturel'
 - Augmentation pour l'enjeu 'activité économique', raison : les mesures nationales ne peuvent pas inverser l'effet de la hausse des valeurs patrimoniales au fil du temps du fait de la croissance économique, mais elles peuvent toutefois freiner l'évolution du risque.

Conclusion

Les mesures mises en œuvre jusqu'en 2020 au niveau national font apparaître une nette réduction des risques (pour tous les enjeux). Pour les dommages potentiels, on note une hausse (enjeu 'activité économique'), une stagnation (enjeux 'santé humaine', 'environnement' et 'patrimoine culturel').

b) Analyse préliminaire du 2^e PIGRI 2022-2027

Question

Comment les dommages potentiels et le risque vont-ils évoluer sous l'effet des mesures futures prévues d'ici 2030 (ou 2027) ?

Résultats

Entre 2020 et 2030, les résultats montrent une modification moins importante des dommages potentiels et des risques pour $HQ_{fréquent}$ et $HQ_{extrême}$ (de même que pour HQ_{moyen} sans restauration des digues en NL). On relève même une légère augmentation des dommages potentiels et des risques pour l'enjeu 'activité économique'. Cela est dû au fait que le nombre prévu de mesures d'abaissement des niveaux d'eau sur l'ensemble du Rhin

sur la période 2020-2030 est globalement inférieur à celui de 2015-2020. La réduction des dommages potentiels et des risques dans le scénario HQ_{moyen} est uniquement importante si sont prises en compte les mesures de restauration des digues prévues aux Pays-Bas, qui se traduisent par une réduction significative des zones inondables dans le cas de ce scénario.

Conclusion

Les dommages potentiels et le risque seront nettement abaissés d'ici 2030 pour HQ_{moyen} si les mesures de restauration des digues sont mises en œuvre au Pays-Bas.

Pour les scénarios $HQ_{\text{fréquent}}$ et $HQ_{\text{extrême}}$, les données actuelles indiquent que les dommages potentiels et le risque restent constants ou accusent une légère hausse jusqu'en 2030 (enjeu 'activité économique'). Cette remarque s'applique également à HQ_{moyen} au cas où les mesures NL de restauration des digues ne seraient pas réalisées.

c) Efficacité des différentes mesures

Question

Quelle est l'efficacité des différentes mesures de gestion des risques d'inondation ?

Résultats et conclusions

- Les résultats font apparaître une réduction moyenne à forte des dommages et du risque sur la base des mesures nationales communiquées (indicateurs). On le constate entre autres en comparant la situation entre des années individuelles (2015, 2020, 2030) avec et sans mesures, c'est-à-dire sans prendre en compte l'évolution dans le temps (cf. figures dans les chap. 3.1-3.4).
- Les mesures individuelles déploient globalement leur plus grand effet quand elles sont appliquées et calculées en combinaison avec d'autres mesures.
- L'étendue de l'impact des mesures nationales sur la réduction des dommages et des risques varie en fonction de l'enjeu considéré :
 - les mesures nationales ont un effet prononcé de réduction des risques sur la 'santé humaine', principalement du fait des mesures de mise en sûreté et d'évacuation.
 - L'effet de réduction des mesures nationales (indicateurs) est encore important sur les enjeux 'environnement' et 'patrimoine culturel' et 'activité économique', mais cet effet est plus faible que sur l'enjeu 'santé humaine'.
- Les mesures d'abaissement des niveaux d'eau, qui modifient en théorie les probabilités, permettent de très grandes réductions des risques (voir résultats dans les chap. 3.1 à 3.4).
 - Les mesures de réduction des profondeurs d'eau et de la superficie des surfaces inondables (programme NL de restauration des digues) se traduisent par de très grandes réductions des dommages et par conséquent du risque jusqu'à une crue donnée, dans l'hypothèse qu'il n'y ait pas de rupture de digue (voir résultats dans les chap. 3.1 à 3.4).
- Les autres mesures de protection contre les inondations (digues, parois, etc.) influencent l'effet des mesures de préparation et de prévention (indicateurs nationaux) (cf. chap. 26.1 et 2.6.2) : ces dernières peuvent avoir un effet plus notable quand n'existaient pas auparavant de dispositifs physiques de protection.

4. Analyse de sensibilité

Le paragraphe suivant analyse la sensibilité des résultats aux modifications apportées aux données d'entrée, à la méthode appliquée ou à la version FloRiAn utilisée. On peut ainsi reconnaître quel est le degré de robustesse/fiabilité des résultats disponibles et quel peuvent être les effets des modifications apportées aux données d'entrée.

L'analyse a concrètement porté sur l'effet des données d'occupation des sols (chapitre 4.1), des données de l'Atlas du Rhin et d'autres données d'entrée telles que les mesures (indicateurs) (chapitre 4.2). Par ailleurs, les résultats de 2020 ont été comparés à ceux de 2016 (voir chapitre 4.3), ce qui montre simultanément l'impact de l'optimisation de l'outil.

NB : les analyses décrites dans le présent chapitre pour l'enjeu 'activité économique'²³ ont été réalisées uniquement pour l'année d'analyse 2020, c'est-à-dire avec utilisation des données d'entrée de 2020 et sans effet du programme NL 2030 de restauration des digues. De plus, les calculs et évaluations ont principalement porté sur les différences au niveau des dommages et des risques sans impact des mesures. On part ici de l'hypothèse que les différences identifiées au travers des calculs des dommages et /ou des risques se prolongent dans les résultats de l'état avec impact des mesures.

4.1. Impact de l'occupation des sols

Situation de départ

Dans les résultats présentés au chapitre 3, les effets de l'évolution des modes d'occupation des sols (p. ex. le développement urbain croissant) ne sont pas encore pris en compte dans les résultats. Ceci vient du fait que l'on ne dispose pas de données de projections futures dans les jeux d'occupation des sols (CLC) et que les jeux de données CLC existant pour 2006, 2012 et 2018 ne sont pas totalement comparables. Les jeux de données CLC susmentionnés (CLC 2006, CLC 2012, CLC 2018) ont été recensés et traités selon des modes distincts, ce qui influence sensiblement le calcul du risque d'inondation. On a donc appliqué dans les calculs le jeu de données d'occupation des sols le plus récent, c'est-à-dire CLC 2018, pour toutes les périodes (2015, 2020, 2030). Si la croissance démographique et économique continue à évoluer les prochaines décennies au rythme des 20 dernières années, on estime que ceci aura aussi un impact sur les dommages potentiels et sur le risque d'inondation.

L'impact des changements dans l'occupation des sols a donc été analysé pour cette raison dans le cadre de calculs de sensibilité. Comme on ne dispose pas de données de projections futures dans les jeux d'occupation des sols, on a opté pour une approche rétrospective en examinant comment l'occupation des sols avait évolué entre 2006 et 2018²⁴. Pour cette analyse approfondie de l'évolution de l'occupation des sols, on a traité et utilisé - en complément des jeux de données CLC 2006 et CLC 2018 - les jeux de données « Corine Land Cover Changes (CHA) » établis pour 2006-2012 et 2012-2018 par Copernicus.

On a analysé dans une première étape comment l'occupation des sols avait évolué de 2006 à 2018 en examinant de plus près les surfaces touchées par une inondation extrême. Dans une seconde étape, on a ensuite calculé avec l'outil FloRiAn l'impact de cette modification de l'occupation des sols sur les dommages potentiels et sur le risque d'inondation²⁵.

²³ La méthode et les résultats monétaires des calculs sont les plus concrets dans le cas de l'enjeu 'activité économique', raison pour laquelle cet enjeu a été retenu en priorité pour l'analyse. **Exception :** Le chapitre 4.2b) comprend en plus également les résultats d'analyses pour l'enjeu 'activité économique' pour 2030 et pour l'enjeu 'santé humaine' pour 2020.

²⁴ Les données CLC sont peu appropriées pour les comparaisons, en raison des imprécisions découlant de différences liés aux méthodes utilisées pour établir les jeux de données.

²⁵ Remarque : les modifications d'occupation des sols et les hausses de dommages et de risques n'évoluent pas obligatoirement de manière linéaire, car de telles hausses sont aussi fonction de la profondeur et de la probabilité d'inondation.

Les résultats de ces calculs de sensibilité mettent en relief les aspects suivants :

- Des modifications et des conversions d'occupation des surfaces sont visibles autant sur la période 2006-2012 que sur la période 2012-2018. Avec env. 96 km², ces modifications sont plus importantes de 2006 à 2012 que de 2012 à 2018 (avec env. 70 km²).
- Les catégories d'occupation des sols les plus touchées par ces modifications sont les « zones urbaines » et l'« industrie »²⁶. Les modifications viennent principalement d'une transformation de surfaces d'exploitation agricole et de surfaces en chantier en surfaces urbaines et industrielles. On note également de 2012 à 2018 une densification de l'espace urbain.
- En raison des conversions de surfaces et de l'augmentation des zones urbanisées et industrialisées et, dans une certaine limite, de la progression des surfaces agricoles dans le champ d'inondation, les dommages augmentent dans les zones urbaines, industrielles et agricoles, principalement avec les scénarios HQ_{moyen} et HQ_{extrême}, alors que le scénario HQ_{fréquent} ne fait pas apparaître de hausse significative des dommages potentiels.
- Une intensification de l'occupation des sols peut se traduire par une hausse significative des dommages potentiels et des risques. Des calculs comparatifs avec CLC 2006 et CLC 2018 montrent qu'une augmentation de l'occupation des sols sur une plage de 12 ans pourrait se traduire par une hausse des dommages potentiels et des risques de 8 à 14 % pour l'enjeu 'activité économique'.
- Ces chiffres sont à considérer avec prudence, car les calculs reposent sur une approche rétrospective et, plus encore, car les jeux de données CLC de différentes années (CLC 2006 et CLC 2018) ne sont pas directement comparables du fait de leurs méthodes différentes.
- Les résultats indiquent cependant qu'une augmentation des surfaces urbaines et industrielles dans les zones inondables pourrait avoir pour répercussion d'ici 2040 une hausse significative des dommages potentiels et des risques. Il est donc très important que la croissance économique repose sur la connaissance du risque, c'est-à-dire que l'implantation de nouvelles zones urbaines et de sites industriels, de même que leur densification, ait lieu en dehors des zones inondables. Si l'on construit dans des zones exposées au risque d'inondation, les nouvelles constructions doivent être adaptées aux risques d'inondation.

²⁶ Même chose pour la catégorie « Divers » qui n'est pas calculée dans l'outil.

4.2 Effets d'autres jeux de données sur les résultats

Tableau 9 : synthèse des résultats des analyses de sensibilité (anciennes vs. nouvelles données) sur l'influence des profondeurs d'inondation et des surfaces inondables (données de l'Atlas du Rhin), d'autres données d'entrée et des mesures nationales (« indicateurs »).

Dommages

Type d'analyse de sensibilité	Référence			Alternative			Enjeu	Année d'analyse	Modification relative du dommage		
	Profondeurs d'eau et surfaces inondables	Mesures nationales (« indicateurs »)*	Autres données d'entrée**	Profondeurs d'eau et surfaces inondables	Mesures nationales (« indicateurs »)*	Autres données d'entrée**			HQ _{fréquent}	HQ _{moyen}	HQ _{extrême}
Influence des anciennes données de profondeurs d'eau et de surfaces inondables (Atlas du Rhin 2015) par rapport aux nouvelles (Atlas du Rhin 2020) sur les dommages	Nouvel Atlas 2020	Aucunes***	Nouvelles données d'entrée (2021)	Ancien Atlas 2015	Aucunes***	Nouvelles données d'entrée (2021)	Activité économique	2020	-47	278	-6
Nouvel Atlas 2020				Anciennes données d'entrée (2016)		Activité économique	2020	0	0	-4	
Ancien Atlas 2015				Anciennes données d'entrée (2016)		Activité économique	2020	-47	278	-11	
Influence des anciennes données d'entrée (Atlas du Rhin 2015 et calculs HIRI 2016) par rapport aux nouvelles données d'entrée (Atlas du Rhin 2020 et calculs HIRI 2021) sur les dommages	Nouvel Atlas 2020	Nouvelles mesures (2021)	Nouvelles données d'entrée (2021)	Ancien Atlas 2015	Aucunes***	Nouvelles données d'entrée (2021)	Santé humaine	2020	-12	0	2
Nouvel Atlas 2020				Anciennes mesures (2016)		Activité économique	2020	-10	-1	-16	
Ancien Atlas 2015				Anciennes mesures (2016)		Activité économique	2030	-4	0	-16	

Risques

Type d'analyse de sensibilité	Référence			Alternative			Enjeu	Année d'analyse	Modification du risque en %		
	Profondeurs d'eau et surfaces inondables	Mesures nationales (« indicateurs »)*	Autres données d'entrée**	Profondeurs d'eau et surfaces inondables	Mesures nationales (« indicateurs »)*	Autres données d'entrée**			HQ _{high}	HQ _{med}	HQ _{ext}
Influence des anciennes données de profondeurs d'eau et de surfaces inondables (Atlas du Rhin 2015) par rapport aux nouvelles (Atlas du Rhin 2020) sur les risques	Nouvel Atlas 2020	Aucunes***	Nouvelles données d'entrée (2021)	Ancien Atlas 2015	Aucunes***	Nouvelles données d'entrée (2021)	Activité économique	2020	-49	263	-15
Nouvel Atlas 2020				Anciennes données d'entrée (2016)		Activité économique	2020	4	2	8	
Ancien Atlas 2015				Anciennes données d'entrée (2016)		Activité économique	2020	-49	263	-2	
Influence des anciennes données d'entrée (Atlas du Rhin 2015 et calculs HIRI 2016) par rapport aux nouvelles données d'entrée (Atlas du Rhin 2020 et calculs HIRI 2021) sur les risques	Nouvel Atlas 2020	Nouvelles mesures (2021)	Nouvelles données d'entrée (2021)	Ancien Atlas 2015	Aucunes***	Nouvelles données d'entrée (2021)	Santé humaine	2020	-3	3	14
Nouvel Atlas 2020				Anciennes mesures (2016)		Activité économique	2020	-3	1	-8	
Ancien Atlas 2015				Anciennes mesures (2016)		Activité économique	2030	-1	2	-15	

*Les mesures d'abaissement des niveaux d'eau ainsi que le programme NL de restauration des digues ne sont pas compris dans cette liste. Pour la santé humaine, les mesures comprennent l'évacuation.

**Autres données d'entrée : Il s'agit de types de données autres que les profondeurs d'eau qui sont utilisées pour les calculs. Ces données sont de caractère général (par ex. zones administratives) ou ont un lien avec les 4 enjeux.

***Calculs sans les mesures nationales (« indicateurs »).

Remarque générale : tous les calculs ont été effectués avec CLC 2018 (= jeu de données d'occupation des sols identique)

Aide à la lecture du tableau 9 : Ce tableau donne un aperçu des analyses effectuées sur l'influence des différentes données d'entrée (cf. annexe 3) sur les résultats des calculs. Dans ce cadre, un jeu de données de référence est comparé à un jeu de données alternatif. Le jeu de données alternatif qui est déterminant pour toute comparaison est écrit en **rouge**.

Exemple : ligne 1, Dommages : les résultats des calculs sur les nouvelles données en matière de profondeurs et de surfaces inondables issus de l'Atlas du Rhin 2020 (« référence ») sont ici comparés aux résultats des calculs sur les anciennes données en matière de profondeurs et de surfaces inondables de l'Atlas du Rhin 2015 (« alternative »). Pour le scénario HQ_{fréquent}, la différence s'élève à -47 %. Ceci signifie que les dommages calculés sur la base des nouvelles données en matière de profondeurs et de surfaces inondables issues de l'Atlas du Rhin 2020 sont 47 % moins élevés que les dommages calculés sur la base des anciennes données en matière de profondeurs et de surfaces inondables de l'Atlas du Rhin 2015. Pour le scénario HQ_{moyen}, les dommages calculés sur la base des nouvelles données en matière de profondeurs et de surfaces inondables issues de l'Atlas du Rhin 2020 sont 278 % plus élevés que les dommages calculés sur la base des anciennes données en matière de profondeurs et de surfaces inondables de l'Atlas du Rhin 2015.

a) Effets des données de l'Atlas du Rhin et d'autres données d'entrée

Dans le cadre d'analyses de sensibilité, il a été procédé à l'analyse de l'influence des anciennes données d'entrée des calculs HIRI, y compris les profondeurs et zones inondables de l' [Atlas 2015 du Rhin \(AR2015\)](#), et à leur comparaison avec les nouvelles données d'entrée de l'état 2020, y compris celles de l'[Atlas 2020 du Rhin \(AR2020\)](#). La comparaison a porté sur les dommages et les risques sans les mesures nationales (indicateurs).

On a tenté, dans une première analyse, de faire la distinction entre l'influence de la variation des profondeurs d'inondation et des surfaces inondables (risque) et les autres données d'entrée (enjeux) en utilisant des données de l'AR2020 et de l'AR2015, de même que d'anciennes et nouvelles données d'entrée tirées des calculs HIRI.

Deux approches ont été utilisées à cette fin :

- 1) Application des nouvelles données d'entrée tirées des calculs disponibles avec utilisation des profondeurs/surfaces de l'AR2015 mais en conservant CLC 2018 (pour ne pas fausser les calculs/l'impact).
- 2) Application des anciennes données d'entrée tirées des calculs de 2016 avec utilisation des profondeurs/surfaces de l'AR2020 mais en conservant CLC 2018.

Une seconde analyse met en relief les modifications des résultats des calculs quand les données de l'AR2020 et de l'AR2015 sont toutes introduites dans l'outil avec utilisation du jeu CLC 2018. Cette analyse produit des résultats très similaires à ceux de la première analyse affichés sous *question 1*).

Tableau 10 : extrait du tableau 9, analyse de sensibilité du chap. 4.2a et résultats

Dommages											
Type d'analyse de sensibilité	Référence			Alternative			Enjeu	Année d'analyse	Modification relative du dommage (%)		
	Profondeurs d'eau et surfaces inondables	Mesures nationales (« indicateurs »)	Autres données d'entrée**	Profondeurs d'eau et surfaces inondables	Mesures nationales (« indicateurs »)	Autres données d'entrée**			HQ _{high}	HQ _{mean}	HQ _{ext}
Influence des anciennes données de profondeurs d'eau et de surfaces inondables (Atlas du Rhin 2015) par rapport aux nouvelles (Atlas du Rhin 2020) sur les dommages	Nouvel Atlas 2020	Aucunes***	Nouvelles données d'entrée (2021)	Ancien Atlas 2015	Aucunes***	Nouvelles données d'entrée (2021)	Activité économique	2020	-47	278	-6
Nouvel Atlas 2020				Anciennes données d'entrée (2016)		Activité économique	2020	0	0	-4	
Ancien Atlas 2015				Anciennes données d'entrée (2016)		Activité économique	2020	-47	278	-11	
Risques											
Type d'analyse de sensibilité	Référence			Alternative			Enjeu	Année d'analyse	Modification du risque en %		
	Profondeurs d'eau et surfaces inondables	Mesures nationales (« indicateurs »)	Autres données d'entrée**	Profondeurs d'eau et surfaces inondables	Mesures nationales (« indicateurs »)	Autres données d'entrée**			HQ _{high}	HQ _{med}	HQ _{ext}
Influence des anciennes données de profondeurs d'eau et de surfaces inondables (Atlas du Rhin 2015) par rapport aux nouvelles (Atlas du Rhin 2020) sur les risques	Nouvel Atlas 2020	Aucunes***	Nouvelles données d'entrée (2021)	Ancien Atlas 2015	Aucunes***	Nouvelles données d'entrée (2021)	Activité économique	2020	-49	263	-15
Nouvel Atlas 2020				Anciennes données d'entrée (2016)		Activité économique	2020	4	2	8	
Ancien Atlas 2015				Anciennes données d'entrée (2016)		Activité économique	2020	-49	263	-2	

*Les mesures d'abaissement des niveaux d'eau ainsi que le programme NL de restauration des digues ne sont pas compris dans cette liste. Pour la santé humaine, les mesures comprennent l'évacuation.

**Autres données d'entrée : Il s'agit de types de données autres que les profondeurs d'eau qui sont utilisées pour les calculs. Ces données sont de caractère général (par ex. zones administratives) ou ont un lien avec les 4 enjeux.

***Calculs sans les mesures nationales (« indicateurs »).

Remarque générale : tous les calculs ont été effectués avec CLC 2018 (= jeu de données d'occupation des sols identique)

Conclusion intermédiaire

L'analyse de l'impact des données de l'Atlas du Rhin met en relief les aspects suivants :

Les dommages et le risque sont influencés de manière déterminante par la modification des profondeurs d'eau/étendue des surfaces inondables dans l'AR, entre autres par celle concernant les profondeurs/surfaces pour HQ_{moyen} aux Pays-Bas dans le nouvel AR2020 par rapport à l'ancien AR2015 (= extension des surfaces/profondeurs du scénario HQ_{moyen} dans le nouvel Atlas par rapport à l'ancien) (cf. cartes 2 et 3 et figures 17 et 18 sous forme d'extraits de l'AR2015 et de l'AR2020 pour la partie NL).

Il est sûr aussi que la modification des valeurs de profondeurs d'inondation dans le nouvel Atlas (valeurs définies par défaut en quatre classes de profondeur d'eau) par rapport à

l'ancien Atlas (valeurs de profondeurs d'eau continues) a pu jouer un rôle dans les différences de résultats sur les dommages.

En outre, dans le cas du risque, l'impact des modifications - *indiquées à la question 2* - des tronçons fluviaux avec mention des probabilités joue un rôle supplémentaire.

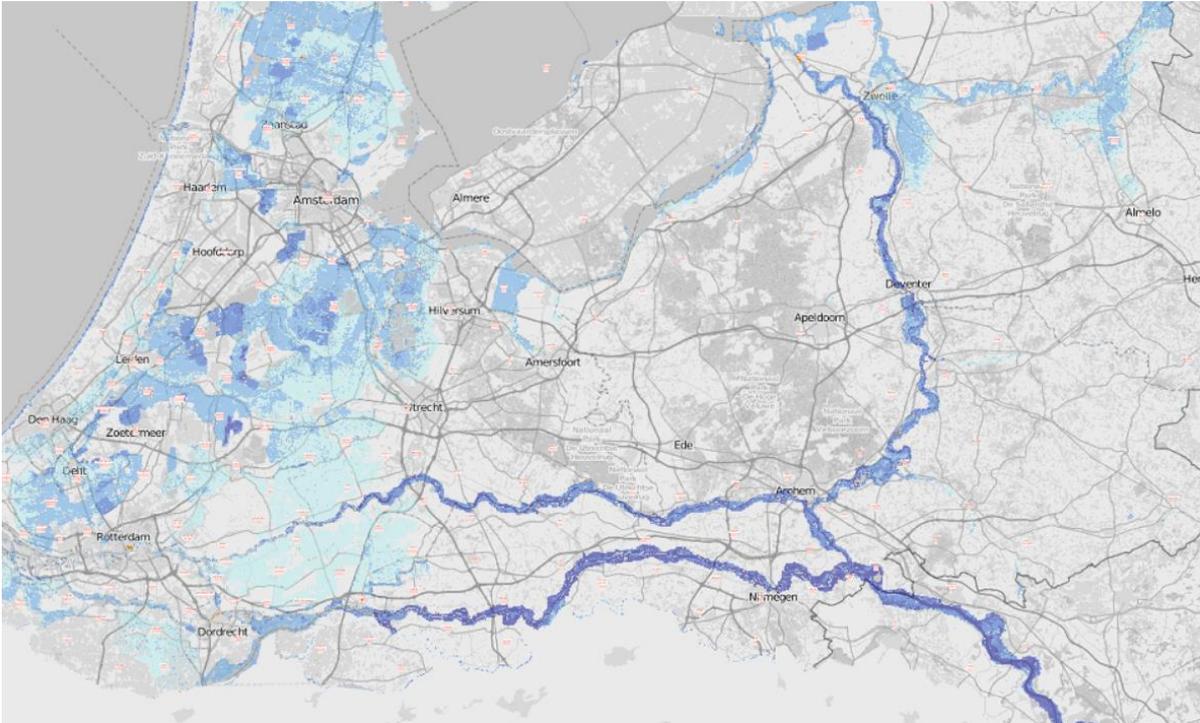


Figure 17 : **anciennes** surfaces/profondeurs d'inondation tirées de l'AR2015 aux Pays-Bas.

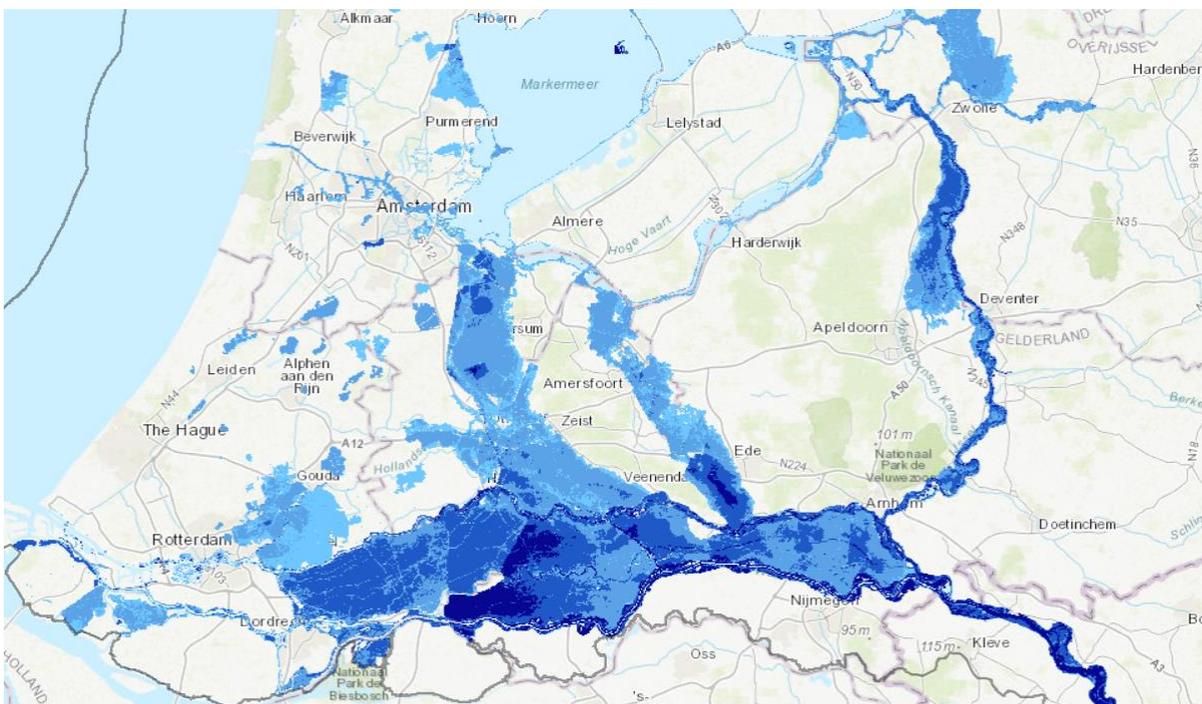


Figure 18 : **nouvelles** surfaces/profondeurs d'inondation tirées de l'AR2020 pour HQ_{moyen} aux Pays-Bas (sans mesures de restauration des digues)

b) Impact du recensement actualisé des mesures/indicateurs nationaux

Pour les actuels calculs, les États ont actualisé/refourni leurs données sur les mesures /indicateurs utilisés pour les anciens calculs (2015) (cf. annexe 2b). Une grande différence réside dans le fait que les données sur les mesures du Bade-Wurtemberg avaient été extrapolées aux autres Länder fédéraux allemands dans les calculs de 2015 pour l'Allemagne. Ce processus a entraîné une surestimation du degré de réalisation et de l'impact des mesures. À l'opposé des premiers calculs, tous les Länder fédéraux allemands riverains du Rhin ont fourni des données pour la présente analyse.

Sur la base des calculs comparatifs des répercussions des anciennes et des nouvelles mesures²⁷ pour 2020 et 2030, on retient les différences suivantes au niveau du Rhin :

- Enjeu 'santé humaine' (à titre d'exemple pour 2020) : des données liées aux mesures et indicateurs plus actuelles et plus précises, notamment pour l'Allemagne, abaissent en tendance le nombre d'habitants touchés pour HQ_{fréquent} et l'augmentent en tendance pour HQ_{extrême}. Pour HQ_{moyen}, on ne remarque que peu de différences.
- Enjeu 'activité économique' (à titre d'exemple pour 2020 et 2030) : on note ici les réductions les plus importantes pour HQ_{fréquent} et HQ_{extrême}. Les raisons de ces différences ont déjà été expliquées plus haut. Pour HQ_{moyen}, on ne remarque quasiment aucune différence.

Tableau 11 : extrait du tableau 9, analyse de sensibilité du chap. 4.2a et résultats

Dommages											
Type d'analyse de sensibilité	Référence			Alternative			Enjeu	Année d'analyse	Modification relative du dommage (%)		
	Profondeurs d'eau et surfaces inondables	Mesures nationales (« indicateurs »)	Autres données d'entrée**	Profondeurs d'eau et surfaces inondables	Mesures nationales (« indicateurs »)	Autres données d'entrée**			HQ _{fréquent}	HQ _{moyen}	HQ _{extrême}
Influence des anciennes mesures par rapport aux nouvelles (« indicateurs ») sur les dommages (santé humaine, activité économique)	Nouvel Atlas 2020	Nouvelles mesures (2021)	Nouvelles données d'entrée (2021)	Nouvel Atlas 2020	Anciennes mesures (2016)	Nouvelles données d'entrée (2021)	Santé humaine	2020	-12	0	2
							Activité économique	2020	-10	-1	-16
								2030	-4	0	-16

Risques											
Type d'analyse de sensibilité	Référence			Alternative			Enjeu	Année d'analyse	Modification du risque en %		
	Profondeurs d'eau et surfaces inondables	Mesures nationales (« indicateurs »)	Autres données d'entrée**	Profondeurs d'eau et surfaces inondables	Mesures nationales (« indicateurs »)	Autres données d'entrée**			HQ _{high}	HQ _{med}	HQ _{ext}
Influence des anciennes mesures par rapport aux nouvelles (« indicateurs ») sur les risques (santé humaine, activité économique)	Nouvel Atlas 2020	Nouvelles mesures (2021)	Nouvelles données d'entrée (2021)	Nouvel Atlas 2020	Anciennes mesures (2016)	Nouvelles données d'entrée (2021)	Santé humaine	2020	-3	3	14
							Activité économique	2020	-3	1	-8
								2030	-1	2	-15

* Les mesures d'abaissement des niveaux d'eau ainsi que le programme NL de restauration des digues ne sont pas compris dans cette liste. Pour la santé humaine, les mesures comprennent l'évacuation.

** Autres données d'entrée : Il s'agit de types de données autres que les profondeurs d'eau qui sont utilisées pour les calculs. Ces données sont de caractère général (par ex. zones administratives) ou ont un lien avec les 4 enjeux.

*** Calculs sans les mesures nationales (« indicateurs »).

Remarque générale : tous les calculs ont été effectués avec CLC 2018 (= jeu de données d'occupation des sols identique)

²⁷ On a utilisé ici les mêmes données d'entrée (AR2020, CLC 2018, nombre d'habitants, etc.) que pour les nouveaux calculs, excepté pour les mesures (indicateurs). Seules les mesures ont été échangées (les anciennes par les nouvelles), ceci pour examiner exclusivement leur effet. Dans le cas de l'enjeu 'santé humaine', les indications d'évacuation et de mise en sûreté n'ont pas été modifiées par manque de temps.

Dans le cadre de la comparaison de l'évolution dans le temps des dommages et du risque (enjeu 'activité économique' ; cf. tableau 12), à titre d'exemple pour la période 2020-2030, l'utilisation des anciens et des nouveaux indicateurs ne fait pas apparaître de différences notables, et ce malgré des valeurs absolues différentes. Les anciennes mesures tendent à surestimer la réduction obtenue pour HQ_{fréquent} et HQ_{moyen} et les nouvelles mesures ont un effet de réduction plus prononcé sur HQ_{extrême}.

Tableau 12 : comparaison de l'évolution dans le temps des dommages et du risque avec les nouvelles et les anciennes mesures/indicateurs (**activité économique**)

Réduction/évolution 2020-2030 avec mesures (en %)						Différences en termes d'évolution des dommages et du risque (en points de pourcentage)		
NOUVELLES MESURES			ANCIENNES MESURES					
Dommages avec mesures (évolution 2020-2030 en %)						Dommages avec mesures (en points de pourcentage)		
HQ _{fréquent}	HQ _{moyen}	HQ _{extrême}	HQ _{fréquent}	HQ _{moyen}	HQ _{extrême}	HQ _{fréquent}	HQ _{moyen}	HQ _{extrême}
10	12	10	2	11,5	10	8	1	0
Risque avec mesures (évolution 2020-2030 en %)						Risque avec mesures (en points de pourcentage)		
HQ _{fréquent}	HQ _{moyen}	HQ _{extrême}	HQ _{fréquent}	HQ _{moyen}	HQ _{extrême}	HQ _{fréquent}	HQ _{moyen}	HQ _{extrême}
0	3	-12	-1,5	2	-4,5	1,5	0,5	-7,5

4.3. Comparaison avec les calculs effectués en 2016 (cf. rapport CIPR n° 236)

Situation de départ

Depuis sa création en 2016, l'outil FloRiAn a été développé et perfectionné de manière continue. L'outil FloRiAn et les données d'entrée requises pour la méthode et les calculs (cf. chap. 2.1 et annexe 2a, 3) se distinguent donc de ceux des anciens calculs effectués (cf. rapport CIPR n° 236).

En raison des nombreuses données d'entrée différentes, les valeurs absolues découlant des anciens calculs ne peuvent pas être comparées à celles des nouveaux calculs (cf. figure 1928). Au sens d'un contrôle de qualité, il est cependant possible de comparer l'évolution du risque au fil du temps (cf. tableau 13).

Les résultats obtenus pour le risque économique (avec impact des mesures) sont comparés ci-après.

Tableau 13 : comparaison de la modification relative du risque entre les anciens et les nouveaux calculs

Résultats 2016 (rapport HIRI n° 236)			
Modification relative du risque (%)			
	Période globale	1 ^{er} PGRI	2 ^e PGRI
	2015-2030	2015-2020	2020-2030
HQ _{fréquent} avec mesures	-22	-20	-2
HQ _{moyen} avec mesures	-47	-41	-10
HQ _{extrême} avec mesures	-44	-39	-8
Résultats 2021			
Modification relative du risque (%)			
	Période globale	1 ^{er} PGRI	2 ^e PGRI
	2015-2030	2015-2020	2020-2030
HQ _{fréquent} avec mesures	-28	-28	0
HQ _{moyen} avec mesures	-39	-41	3
HQ _{extrême} avec mesures	-44	-36	-12

²⁸ Le tableau et la figure n'intègrent pas pour HQ_{moyen} l'impact du programme NL de restauration des digues pour 2030.

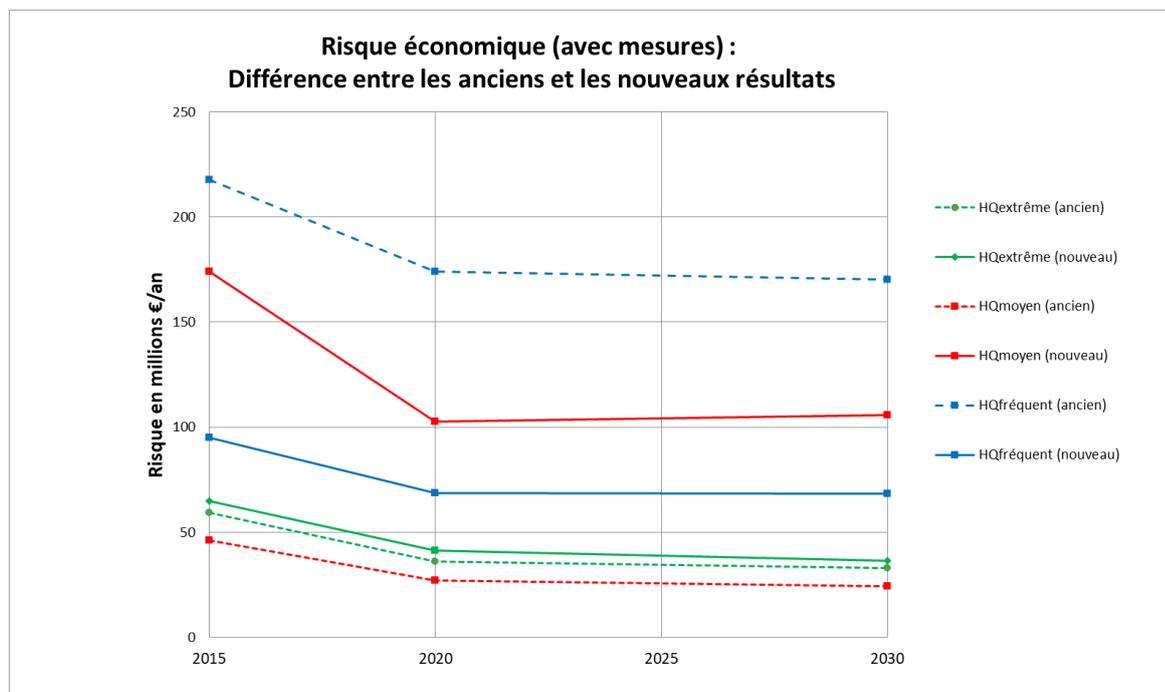


Figure 19 : comparaison entre les anciens et les nouveaux résultats

Résultats

- Pour l'enjeu 'activité économique', les résultats montrent que les tendances de l'évolution du risque pour HQ_{moyen} et $HQ_{extrême}$ sont similaires pour les deux calculs de 2016 et de 2021 pour la période globale 2015-2030 et la phase du 1^{er} PGRI (période 2015-2020). Cette remarque vaut également pour $HQ_{fréquent}$, bien que les différences soient ici un peu plus importantes. Pour les deux calculs, on note une réduction sensible du risque dans la phase du 1^{er} PGRI (période 2015-2020). La situation est différente dans la phase du 2^e PGRI (période 2020-2030) : si les calculs de 2016 prévoyaient une diminution relative des risques sur la période 2020-2030 pour tous les scénarios d'inondation, les calculs de 2021 ne confirment cette baisse que dans le cas d'un $HQ_{extrême}$. Dans les autres scénarios, on prévoit une stagnation, voire même une très légère augmentation.
- Les valeurs absolues affichent des différences entre les résultats des années 2016 et 2021. Ces écarts sont dus aux différents jeux de données utilisés et à la base des deux cycles de calcul (entre autres des jeux de données distincts sur les profondeurs et les surfaces d'inondation, un nouveau jeu de données CLC, des données plus réalistes sur les mesures).

5. Conclusion

Le groupe d'experts 'Risques d'inondation' CIPR (GE HIRI) a effectué sur mandat du Groupe de travail 'Inondations et Étiages' (GT H) des calculs quantitatifs visant à vérifier le 1^{er} et le 2^e Plan de gestion des risques d'inondation. Ces calculs ont été réalisés avec l'outil innovant et à caractère pilote « [ICPR FloRiAn \(Flood Risk Analysis\)](#) » mis au point en 2015 et perfectionné/optimisé depuis.

Les résultats des calculs montrent que l'outil FloRiAn est approprié pour émettre des déclarations sur l'évolution du risque d'inondation et des dommages potentiels pour les différents enjeux retenus. Les résultats sont plausibles et concordent globalement avec ceux obtenus en 2016. En outre, les nombreuses analyses de sensibilité réalisées montrent que les variations d'occupation des sols, de profondeur et de superficie d'inondation (tirés de l'Atlas du Rhin) et de mesures (indicateurs) ont, selon le scénario d'inondation considéré, un impact (très) important sur les résultats des calculs. Quand une différence est constatée dans les résultats sur les dommages, elle se reflète également dans les résultats sur les risques.

Au regard des résultats disponibles, on peut conclure par ailleurs que tous les types de mesures (mesures d'abaissement des niveaux d'eau, dispositifs de protection pour réduire les surfaces inondables, mesures/indicateurs nationaux tels que mise en sûreté et évacuation) ont un impact significatif sur l'évolution du risque. Sans ces mesures, les dommages et les risques atteindraient un niveau nettement plus élevé. *Remarque : nous rappelons que, de l'avis des États du bassin du Rhin et en conformité avec le PIGRI du DHI Rhin, le meilleur moyen de réduire les dommages et les risques résulte de la mise en œuvre de toute la palette des mesures de gestion du risque d'inondation depuis les mesures non techniques de prévention et de préparation jusqu'aux dispositifs techniques de protection et à la gestion de crise. Il est rappelé également ici qu'un risque résiduel subsiste toujours, également derrière les infrastructures de protection. Il est rappelé également ici que le risque résiduel existe toujours, également derrière les infrastructures de protection.*

On note une baisse sensible du risque d'inondation sur la période du 1^{er} PIGRI (2015-2021). Cet effet positif a pu être obtenu grâce aux nombreuses mesures d'abaissement des niveaux d'eau mises en œuvre au cours de cette période et prises en compte dans les calculs. Entre 2015 et 2020, les dommages potentiels sont restés constants pour la santé humaine, l'environnement et le patrimoine culturel et ont augmenté pour l'enjeu 'activité économique'. Raison de cette baisse non significative des dommages : les mesures d'abaissement des niveaux d'eau n'ont pas d'impact sur les dommages potentiels, car elles agissent uniquement sur la probabilité d'inondation.

Les prévisions actuelles pour la période couverte par le 2^e PIGRI (2022-2027) laissent entrevoir une baisse plus faible du risque pour HQ_{fréquent} et HQ_{extrême}. À l'opposé, le scénario HQ_{moyen} fait apparaître une réduction très sensible des risques entre 2020 et 2030 du fait du programme de restauration des digues prévu aux Pays-Bas. On ne relève pas de baisse significative des dommages sur cette même période. *Remarque : les déclarations faites pour le 2^e PIGRI ont, à l'heure actuelle, uniquement caractère de prévision. Ce n'est qu'en 2030 qu'il sera possible de mieux décrire l'évolution des dommages potentiels et du risque pour la période 2020-2030.*

Les États du bassin du Rhin ont déjà obtenu des succès importants ces dernières années dans le cadre des efforts accomplis pour abaisser le risque d'inondation (cf. [Bilan de la mise en œuvre du Plan d'Action contre les Inondations dans le cadre du Programme Rhin 2020](#)). Les résultats issus des calculs disponibles montrent cependant que les efforts des États doivent se poursuivre au cours des prochaines années pour atteindre une réduction supplémentaire à l'avenir, par exemple dans le cadre du [programme Rhin 2040](#). Les résultats montrent également l'importance de la mise en œuvre des mesures prévues d'ici 2030.

Pour optimiser ces efforts ou activités à l'avenir, le GE HIRI propose les améliorations suivantes :

- On part du principe que plusieurs États mettront en œuvre d'ici 2040 des mesures d'abaissement des niveaux d'eau. Le GE HIRI recommande donc d'assurer que des calculs du GE HVAL sur l'efficacité de ces mesures soient également actualisés en vue des calculs que le GE HIRI est susceptible de réaliser à l'avenir. Dans ce cadre, l'avancement en matière de réalisation et de planification des mesures doit être pris en compte.
- Si ces données sont disponibles à l'échelle nationale, le GE HIRI recommande aux États de fournir à nouveau à l'avenir leurs données de profondeurs d'eau pour l'Atlas du Rhin sous forme de valeurs continues (cm ou dm). Il en résultera des résultats plus précis dans les calculs FloRiAn. Il convient globalement d'améliorer et de mieux ajuster les données de l'Atlas (communiquées par les délégations au sein du GE GIS) avec les données formatées/préparées pour les calculs HIRI.
- De l'avis du GE HIRI, il serait utile de coordonner les dates de demande de données et celles des calculs avec les travaux d'actualisation des CZI et CRI nationales (c'est-à-dire l'Atlas également), ainsi qu'avec les PGRI. Le GE HIRI recommande donc que soient d'abord actualisé l'Atlas du Rhin et disponibles les rapports sur les PGRI à l'UE (informations sur la mise en œuvre des mesures) avant que le GE HIRI lance l'intégration des données et effectue ses calculs. En effet, ces informations constituent le fondement des demandes de données et des calculs avec l'outil FloRiAn.
- Le GE HIRI estime très précieuse l'assistance apportée par l'Office fédéral allemand de l'hydrologie (BfG) (p.ex. pour le formatage des données et les test de calculs).
- Il convient en outre de vérifier les points suivants pour les futurs calculs :
 - une remise à jour des fonctions de dommages et des valeurs patrimoniales/des dommages apparaît-elle judicieuse ?
 - une remise à jour des valeurs pronostiquées sur les habitants touchés sur la base de nouvelles données statistiques/démographiques de croissance de la population semble-t-elle également judicieuse ?
 - est-il possible de préciser les indicateurs et d'améliorer la disponibilité de ces indicateurs ?
 - est-il possible de vérifier l'impact de chaque mesure/indicateur ?
 - Souhaite-t-on utiliser dans le futur des résultats des calculs dudit risque intégral ou de la valeur annuelle de dommages attendue (c'est-à-dire le risque annuel moyen sur une période de temps prolongée) (ceci n'a pas été le cas dans le présent rapport) ? Si tel est le cas, vérifier/optimiser l'outil dans ce sens.
 - examiner et corriger le problème du module de calcul de l'héritage culture du nouvel outil.

Annexes

Annexe 1 : Sources bibliographiques

CIPR

CIPR : Page d'informations générales sur l'outil FloRiAn et les travaux du GE HIRI :
<https://www.iksr.org/fr/themes/inondations/outil-risque-dinondation-florian>

CIPR (2011) : Identification de l'efficacité des mesures de réduction des niveaux de crue extrêmes à la suite de la mise en œuvre du Plan d'action contre les inondations 1995–2010 et prévisions pour 2020 et 2020+ (rapport n° 199)

CIPR (2015) : Atlas du Rhin 2015 (lien :
http://geoportal.bafg.de/mapapps/resources/apps/ICPR_FR/index.html?lang=en)

CIPR (2015) : Estimation de la modification de probabilité due aux mesures de réduction des crues le long du Rhin (rapport n° 229).

CIPR (2015) : Premier plan de gestion des risques d'inondation coordonné au niveau international dans le District Hydrographique International Rhin (*y compris informations et liens vers les plans nationaux*) (lien :
https://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/Dokumente_fr/Milieu_physique/PGRI_2015neu.pdf)

CIPR (2016) : Rapport de synthèse « Identification de la réduction des risques d'inondation (Plan d'Action contre les Inondations, objectif opérationnel n° 1) compte tenu des types de mesures et des enjeux visés par la directive 2007/60/CE (DI) » (rapport n° 236)

CIPR (2016) : Rapport technique « Outil et méthode d'identification de la modification/réduction du risque d'inondation » (rapport n° 237)

CIPR (2016 ; document interne) : User's guide to the ICPR GIS Instrument for evaluating the reduction of the risk of flooding taking into account the protection objectives in accordance with Floods Directive.

CIPR (2020) : Atlas du Rhin 2020 (lien : <https://www.iksr.org/fr/relations-publiques/documents/archive/cartes/atlas-du-rhin> et <https://geoportal.bafg.de/karten/atlas-du-rhin/>)

CIPR (2020) : Deuxième plan de gestion des risques d'inondation coordonné au niveau international dans le District Hydrographique International Rhin (projet) (*y compris informations et liens vers les plans nationaux*) (lien :
https://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/DKDM/Dokumente/BWP-HWRMP/FR/bwp_Fr_2e_PIGRI_Rhin_2020.pdf)

CIPR (2020) : Bilan de la mise en œuvre du Plan d'Action contre les Inondations dans le cadre du Programme Rhin 2020 (lien :
https://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/DKDM/Dokumente/Broschueren/FR/bro_Fr_Bilan_Rhin_2020_01.pdf)

CIPR (2020) : Communiqué de la 16^e Conférence ministérielle sur le Rhin et du programme Rhin 2040 (lien : <https://www.iksr.org/fr/cipr/rhin-2040>)

Publications externes importantes

2017 : « ICPR FloRiAn : GIS-Instrument zur Ermittlung der Wirksamkeit von Maßnahmen auf das Hochwasserrisiko und erste Anwendung am Rhein », A. Schmid-Breton, G. Kutschera, EG HIRI; Korrespondenz Wasserwirtschaft 2017 Nr. 11 voir
<https://de.dwa.de/de/kw-korrespondenz-wasserwirtschaft.html>

2017 : Poster dans le cadre de Interpraevent – CH :
https://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/Dokumente_fr/Inondation/Poster_HIRI_FR_FIN_AL.jpg

2018 : « A Novel Method for Evaluation of Flood Risk Reduction Strategies: Explanation of ICPR FloRiAn GIS-Tool and Its First Application to the Rhine River Basin », A. Schmid-Breton, G. Kutschera, T. Botterhuis, EG HIRI ; MDPI Geosciences - Special Issue Hydrological Hazard: Analysis and Prevention, voir <https://www.mdpi.com/2076-3263/8/10/371>

2021 : « Evaluating past and future flood risk reduction in the Rhine river basin », A. Schmid-Breton, N. Schulte-Kellinghaus ; Budapest University of Technology and Economics, voir <https://repozitorium.omikk.bme.hu/handle/10890/15562> (publication dans le cadre de la conférence FLOODrisk 2020)

Utilisations externes de l'outil

2017 : Maria Kaiser (Prof. in TU München), « *Risk-based flood protection planning under climate change and modeling uncertainty: a pre-alpine case study* », (voir <https://nhess.copernicus.org/articles/18/1327/2018/nhess-18-1327-2018.pdf>) (cf. HIRI(1)17_Kaiser_Article NHES)

2017 : Helen Harzendorf (RWTH Aachen/STEB Köln) (Masterarbeit) « *Anwendung und Weiterentwicklung eines Instruments zum Nachweis der Reduzierung des Überflutungsrisikos im Stadtgebiet Köln* » (cf. HIRI(1)17_Harzendorf)

2017/2018 : Échange avec d'autres utilisateurs tels que LfU BY, a été résumé dans le relevé des décisions HIRI(1)18-02.

2019 : Iris Buntrock (Uni. Darmstadt und Büro Infrastruktur und Umwelt, Sandra Pennekamp) (mémoire de licence): « *Ansätze zur Wirkungsermittlung von Maßnahmen im Hochwasserrisikomanagement: Nachweis der Änderung des Hochwasserrisikos im Einzugsgebiet der Donau (Baden-Württemberg) mit Hilfe des FloRiAn-Tool* » (voir HIRI(2)18-03_IrisBuntrock Bachelorarbeit)

2019 : Erika Lindqvist (Uni. Göteborg, SE) (mémoire de master), « *Investigating flood risk cost in Kungsbacka (Sweden) using the ICPR FloRiAn GIS-tool* » (voir <https://gupea.ub.gu.se/handle/2077/62245>)

2016-2021 : diverses autres utilisations, telles que l'étude des effets de la protection des digues par la ville de Neuss, utilisation de l'outil dans le BMBF-R2K-Klim+ (RWTH Aachen), comparaison FloRiAn vs. LATIS par la Région flamande (BE), utilisation de l'outil par l'université nationale de Malaisie

Annexe 2a : Liste des mesures et des indicateurs utilisés dans la méthode et mention de leur impact sur les types d'enjeux, de même que sur les dommages ou le risque

Type de mesure selon la DI	Indicateur	Effet sur : Dommages potentiels Risque Enjeux considérés/touchés Santé humaine Environnement Patrimoine culturel Activité économique
Prévention		
Aménagement du territoire au niveau national et régional et plans d'urbanisme	Règles et plans d'urbanisme dans lesquels figurent des dispositions de protection contre les inondations, (mode de construction adapté au risque d'inondation)	Dommages potentiels Santé humaine, patrimoine culturel Activité économique
Préservation des zones inondables et occupation des sols adaptée	Modification des données d'occupation des sols (données CLC)	Dommages potentiels Santé humaine Activité économique
Planification, construction et rénovation adaptées aux risques d'inondation	Mesures de construction adaptées au risque d'inondation mises en œuvre	Santé humaine, patrimoine culturel, activité économique
Protection technique des bâtiments dans les ménages/communes	Surfaces protégées par des systèmes techniques ou mobiles	Dommages potentiels
Mesures techniques de réduction de la vulnérabilité du bâti dans les installations à risque		Santé humaine, patrimoine culturel, activité économique Environnement
Adapter le stockage de substances dangereuses pour les eaux au risque d'inondation dans les ménages/communes	Mise en sûreté des réservoirs à mazout et/ou installation aux étages supérieurs	Dommages potentiels Patrimoine culturel, activité économique Environnement
Mesures techniques de réduction de la vulnérabilité du bâti dans les installations à risque	Fréquence (de remise à jour) des campagnes d'information	Dommages potentiels Santé humaine, patrimoine culturel, activité économique
Mise à disposition de cartes des zones inondables et de cartes des risques d'inondation et sensibilisation à la prévention individuelle, information et préparation aux inondations		Dommages potentiels Santé humaine, patrimoine culturel, activité économique
Protection contre les inondations		
Mesures de rétention des crues	Modification de la probabilité	Dommages potentiels Risque Santé humaine, environnement, patrimoine culturel, activité économique
Digues, murs de protection, dispositifs de protection mobiles, ...	Une probabilité est également indiquée pour ces mesures. Pourcentage d'évolution/de modification de la probabilité d'inondation entre 1995 et aujourd'hui sous l'effet de l'amélioration de la protection	Dommages potentiels Risque
Entretien/renouvellement d'installations techniques de protection contre les inondations		Santé humaine, environnement, patrimoine culturel, activité économique
Préparation		
Information sur les crues et prévision	Améliorer les prévisions de crue dans le cadre d'une période définie.	Dommages potentiels Santé humaine, patrimoine culturel, activité économique
Planification des alertes et des interventions (y compris reconstruction) / avertissement des populations concernées / exercices / formation	Existence et fréquence d'actualisation des plans d'alerte et d'intervention ; nombre de systèmes d'avertissement (voies et moyens de transmission de l'avertissement)	Dommages potentiels Santé humaine, patrimoine culturel, activité économique
	Indications sur les exercices de protection civile et leur fréquence	Dommages potentiels Santé humaine, patrimoine culturel, activité économique
Mise en sécurité/sûreté de personnes (potentiellement) touchées	Indication d'un taux minimal et maximal de mise en sûreté des personnes touchées dans une zone donnée	Santé humaine

Annexe 2b : vue synoptique des données fournies sur les indicateurs/mesures nationaux (avec taux de mise en sûreté)

Remarque : Dans le tableau, "aucune donnée fournie (-)" signifie que la délégation ne dispose pas des données et/ou que la mesure ne s'y applique pas

Mesures/indicateurs		États/Länder					
N°	Libellé	AT ²⁹	CH ³⁰	D ³¹	FR ³²	LI ³³	NL ³⁴
Enjeux 'santé humaine', 'patrimoine culturel', 'activité économique'							
I.1.1	Préservation des surfaces	+	+	+	+	-	+
I.3.1*	Mode de construction adapté au risque d'inondation	+	+	-	+	-	+
I.3.2*	Protection technique des bâtiments	+	+	-	+	-	-
I.3.3*	Stockage adapté	+	-	-	+	-	-
I.4.1	Campagnes d'information/CZI	+	+	+	+	+	+
III.1.1	Prévision ³⁵	+	+	+	+	+	+
III.2.1	Plans d'alerte et d'intervention etc.	+	+	+	+	+	+
Taux de mise en sûreté/d'évacuation (santé humaine)		+	+	+	+	+	+
Enjeu 'environnement'							
I.3.2	Protection technique des bâtiments	-	-	+	+	-	+
I.3.3	Stockage adapté	-	-	+	+	-	+

*Livraison de données classée comme non prioritaire par GE HIRI (2019)

²⁹ AT : Mêmes données que pour calculs 2016. I.3.2 (Environnement) et I.3.3 (Environnement) : Il existe en Autriche des installations équipées de dispositifs techniques de protection contre les inondations. Étant donné que le taux de protection n'a pas été indiqué, les données n'ont pas été utilisées pour les calculs.

³⁰ CH : Seul II.2.1 a été actualisée en 2019. Pour les autres indicateurs, soit il n'y a pas eu de changement, soit aucune donnée n'est disponible.

³¹ DE : Dans les anciens résultats, les données de BW ont été extrapolées aux autres Länder fédéraux allemands. À l'opposé des premiers calculs, tous les Länder fédéraux allemands riverains du Rhin ont fourni des données pour la présente analyse. Détails : I.1.1, I.4.1 et III.2.1 (ainsi que le taux de mise en sûreté) redélivrés par tous les Länder. I.3.2 (Environnement) : tous les Länder sauf BY. I.3.3 (Environnement) : RP et NRW.

³² FR : toutes mises à jour si nécessaire, sauf I.3.2.

³³ LI : mêmes informations que pour les calculs de 2016. Remarque concernant I.1.1 et I.3.1 : ces mesures existent au Liechtenstein (FL). Il n'y a cependant pas de jeux de données, étant donné que, comme dans la plupart des États, il n'existe pas de prescriptions pour les crues extrêmes. Aucune surface n'est touchée par les crues fréquentes, il ne peut donc pas en être indiqué. I.3.2 (environnement) : il n'y a pas d'installation classée ou SEVESO au Liechtenstein. Ce qui signifie que les données n'ont pas été fournies. Il existe une seule station d'épuration touchée en cas de HQ_{extrême} et qui ne peut pas être suffisamment protégée pour ce type de crue.

³⁴ NL : I.1.1, I.3.3, I.4.1, III.2.1 (ainsi que le taux de mise en sûreté) ont été mis à jour. Le reste est issu des calculs de 2016.

³⁵ Informations fournies par l'entremise des services de prévision des crues (SPC) du Rhin.

Indications actualisées sur les taux de mise en sûreté/d'évacuation :

Taux minimal de mise en sûreté/d'évacuation (sans mesures) (en %) EVAFRAC		Taux maximal de mise en sûreté/d'évacuation (avec mesures) (en %) EVAFMAX
<i>par ex. : 20 = 20 % des habitants peuvent être mis en sûreté</i>		<i>par ex. : 80 = 80 % des habitants peuvent être mis en sûreté</i>
CH, AT, LI (pas de modification des anciennes données) :		
	20	80
DE (politique « N'oublier personne »), FR		
	100	100
NL (données par sous-bassin)		
Sous-bassin		
Bovenrivierengebied (bassin amont des fleuves)	76	83
Zone de transition de l'estuaire de la Meuse et du Rhin	64	71
Zone de transition de l'estuaire de la Meuse et du Rhin	12	29
Delta de l'IJssel	55	65

Annexe 3 : synthèse des données d'entrée utilisées

Données d'entrée	
Données	Qui/où ?
Généralités	
Frontières administratives/politiques	Atlas du Rhin 2020, cartes de la DI, jeux de données LAU/NUTS (ECOSTAT)
Profondeurs d'inondation/zones inondables	
Profondeurs d'inondation/zones inondables (raster) pour les 3 scénarios ; référence 2020	Atlas du Rhin 2020
Probabilités d'inondation	
Probabilités d'inondation - du Rhin alpin à Iffezheim (y compris le lac de Constance)	CIPR/HIRI (cf. rapport technique HIRI n° 237, mis à jour), 2 ^e PIGRI du DHI Rhin
Probabilités d'inondation - de Iffezheim au Rhin alpin (voir également sous « mesures d'abaissement des niveaux d'eau »)	CIPR/HVAL (cf. rapport n° 199 et 229 ainsi que rapport technique n° 237)
Tronçons avec indications de probabilité pour chaque scénario de crue (polygones, shp) (voir également sous « mesures d'abaissement des niveaux d'eau »)	CIPR/HIRI/HVAL (cf. rapport n° 199 et 229 ainsi que rapport technique n° 237, mis à jour)
Occupation des sols	
CORINE Landcover 2018 (en phase de test/pour l'analyse de sensibilité, utilisation de CLC 2006 également)	Copernicus (UE)
CLC Changes 2006-2012 et 2012-2018	
Enjeu 'activité économique' (voir aussi occupation des sols)	
Fonctions de dommages (issues de l'Atlas du Rhin 2001)	CIPR (Atlas du Rhin 2001), États/Länder
Valeurs patrimoniales spécifiques (issues de l'Atlas du Rhin 2001)	CIPR (Atlas du Rhin 2001), États/Länder
Croissance économique/indice des prix à la consommation (entre autres pour le scénario 2030)	CIPR, États/Länder (cf. rapport technique HIRI n° 237)
Enjeu 'santé humaine'	
Habitants pour les 3 scénarios, référence 2020	Atlas du Rhin 2020 (certaines données ont pu être reprises également de l'Atlas du Rhin 2015)
Évolution démographique pronostiquée	Atlas du Rhin 2020
Enjeu 'patrimoine culturel'	
Patrimoine culturel	Atlas 2020 du Rhin (remarque : pour des raisons techniques en relation avec l'outil FloRiAn actualisé, un jeu de donnée spécifique a été utilisé par scénario d'inondation pour les biens culturels dans les récents calculs. On a fait ici appel à la première version de FloRiAn.)
Enjeu 'environnement'	
Zones de protection de l'eau potable/des captages	Atlas du Rhin 2020
Zones protégées FFH	Atlas du Rhin 2020
Zones de protection des oiseaux	Atlas du Rhin 2020
Installations classées/IED (shp-files) et/ou secteurs d'établissement SEVESO (shp-files)	Atlas du Rhin 2020, HIRI (cf. mesures/indicateurs nationaux)
Stations d'épuration (shp-files)	Atlas du Rhin 2020, HIRI (cf. mesures/indicateurs nationaux et aussi rapport technique HIRI n° 237), CIPR/AEE (ou banques de données nationales)
Tronçons en bon ou très bon état écologique (selon la DCE) (plus utilisé en 2021)	CIPR (DCE)/PdG
Mesures/indicateurs (en général, pour des informations précises sur les mesures/indicateurs, voir rapport technique HIRI n° 237)	
Réalisation des mesures nationales (indicateurs)	HIRI, SPC (services de prévision et d'annonce des crues sur le Rhin), États/Länder, 1 ^{er} et 2 ^e PIGRI du DHI Rhin
Taux d'évacuation	HIRI, États/Länder
Effets des mesures (indicateurs)	Bibliographie/CIPR-HIRI/HKV, cf. rapport technique HIRI n° 237
Dispositifs de protection contre les inondations	Atlas du Rhin 2020
(dans notre cas, nouvelles mesures issues du programme NL de restauration des rivières)	Atlas du Rhin 2020, données NL complémentaires
Mesures d'abaissement des niveaux d'eau	HVAL (rapport n° 199 et 229), ainsi que rapport technique HIRI n° 237 2 ^e PIGRI du DHI Rhin (avancement de la mise en œuvre des mesures, non utilisé pour les calculs HIRI)

Annexe 4 : pourcentage de surface inondable par État et par scénario de crue

Flood waterdepth areas per countries							
EXT							
Waterdepth classes	Wdepth classes cm	DE	NL	FR	CH	AT	LI
1 (0-49 cm)	49	18560	33158	1279	2133	3869	127
2 (50-199 cm)	199	63726	144661	17	3846	3382	1027
3 (200-299 cm)	299	103561	181196	27	3869	1975	2319
4 (300-9999 cm)	9,999	114927	49162	73	3365	208	0
TOTAL (Hectar)		300,774	408,177	1,396	13,213	9,434	3,473
TOTAL (Km2)		3,007.74	4,081.77	13.96	132.13	94.34	34.73
ME							
Waterdepth classes	Wdepth classes cm	DE	NL	FR	CH		
1 (0-49 cm)	49	2347	27343	20	147		
2 (50-199 cm)	199	8386	97213	21	237		
3 (200-299 cm)	299	24749	78561	19	99		
4 (300-9999 cm)	9,999	34445	16735	52	138		
TOTAL (Hectar)		69,927	219,852	112	621		
TOTAL (Km2)		699.27	2,198.52	1.12	6.21		
ME30 (NL dike improvement)							
Waterdepth classes	Wdepth classes cm	DE	NL	FR	CH		
1 (0-49 cm)	49	2348	677	20	147		
2 (50-199 cm)	199	8389	9096	21	237		
3 (200-299 cm)	299	24748	15460	19	99		
4 (300-9999 cm)	9,999	34444	6406	52	138		
TOTAL (Hectar)		69,929	31,639	112	621		
TOTAL (Km2)		699.29	316.39	1.12	6.21		
LO							
Waterdepth classes	Wdepth classes cm	DE	NL	FR	CH		
1 (0-49 cm)	49	2595	2444	0	60		
2 (50-199 cm)	199	11450	15206	2	131		
3 (200-299 cm)	299	12632	11419	42	122		
4 (300-9999 cm)	9,999	23277	2571	23	144		
TOTAL (Hectar)		49,954	31,640	67	457		
TOTAL (Km2)		499.54	316.40	0.67	4.57		