



Identification de la réduction des risques d'inondation (PAI, objectif opérationnel n° 1) compte tenu des types de mesures et des enjeux visés par la directive

Rapport de synthèse

Internationale
Kommission zum
Schutz des Rheins

Commission
Internationale
pour la Protection
du Rhin

Internationale
Commissie ter
Bescherming
van de Rijn

Rapport n° 236



Avec le soutien de :



HKV Hydrokontor
Aix-la-Chapelle

HKV Consultants/Lijn in water
Lelystad

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

Hendrick Buiteveld (président)
Wolfgang Zwach (DE), Lennart Gosch (DE-BW), Jürgen Reich (DE-BW)
Holger Kugel (CIPMS)
Urs Nigg (CH), Markus Hostmann (CH)
Jean-Pierre Wagner (FR), Régis Creusot (FR)
Max Schropp (NL), Frank Alberts (NL)
Clemens Neuhold (AT)
Reinhard Vogt, Sabine Siegmund (HWNG Rhein)

Secrétariat de la CIPR :

Anne Schulte-Wülwer-Leidig, Adrian Schmid-Breton
Dominique Falloux, Isabelle Traue, Fabienne van Harten, Marianne Jacobs

Autres contributeurs :

HKV Hydrokontor & HKV Lijn in Water Gesa Kutschera, Ton Botterhuis
Andreas Kaufmann (AT), 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 Coblenz
Postfach 20 02 53, D 56002 Coblenz
Téléphone +49-(0)261-94252-0, téléfax +49-(0)261-94252-52
Courrier électronique: sekretariat@iksr.de
www.iksr.org

ISBN ???

© IKS-R-CIPR-ICBR 2016

Sommaire

Résumé et conclusions	4
Introduction	7
1.Méthode d'identification des effets des mesures sur le risque d'inondation et résultats des calculs	8
1.1 Méthode de calcul	8
1.2 Santé humaine.....	11
1.3 Environnement	12
1.4 Patrimoine culturel	13
1.5 Activité économique	14
1.6 Modification de la probabilité d'inondation sous l'effet des mesures de réduction des crues	16
2.Résultats de l'évaluation	19
2.1 Généralités	19
2.2 Santé humaine (personnes potentiellement touchées).....	20
2.3 Environnement	21
2.4 Patrimoine culturel	23
2.5 Activité économique	25
3.Evaluation des indicateurs et de la méthode	27
3.1 Indicateurs.....	27
3.2 Précisions supplémentaires sur la méthode.....	29
Annexe	31
.....	

Statut du document

Pour identifier les effets de mesures sur le risque d'inondation, la **CIPR** a mis au point une **méthode** qu'elle a intégrée dans un **système d'information géographique (SIG)**.

Le présent **rapport de synthèse** (rapport CIPR n° 236, 2016) 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.

Il présente par ailleurs une évaluation de l'effet de mesures et d'indicateurs, des recommandations sur l'utilisation future de l'outil par la CIPR et par des tiers, et des règles s'appliquant à la transmission de cet outil.

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.

La phase de mise au point de la méthode et de l'outil SIG et la phase de calcul consécutive effectuée au moyen de cet outil se sont déroulées de 2013 à 2016 dans le cadre de la CIPR avec l'aide du consortium HKV Hydrokontor et HKV Lijn in Water. Le groupe d'experts CIPR 'Analyse du risque d'inondation' subordonné au Groupe de travail 'Inondations' a assuré le suivi du mandat confié au consortium par la CIPR et a poursuivi les travaux après arrivée à terme du contrat.

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

L'outil et son guide d'utilisation (Users Guide) peuvent être transmis à des tiers. Cette transmission, gratuite en règle fondamentale, peut éventuellement prévoir une indemnisation des frais engagés. Les futurs utilisateurs travaillent avec l'outil sous leur propre responsabilité. En contrepartie, les utilisateurs sont priés de faire rapport 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 tiers sous réserve de l'accord du propriétaire respectif de ces données.

Résumé et conclusions

En 1998, les Etats riverains du Rhin ont convenu dans le Plan d'Action contre les Inondations (PAI, 1998) quatre grands objectifs, l'un étant de réduire le risque de dommages liés aux inondations de 10% d'ici 2005 et de 25% d'ici 2020 par rapport à 1995. Jusqu'à présent, la CIPR a régulièrement réalisé des évaluations dans le cadre du PAI. Pour déterminer la réduction des risques de dommages, on s'est fondé en 2000 et 2005 sur une méthode plutôt qualitative (voir rapport CIPR n° 157).

L'objectif central de la directive sur la gestion des risques d'inondation (DI ; directive 2007/60/CE) entrée en vigueur en 2007, est de réduire les conséquences négatives potentielles d'une inondation pour la santé humaine, l'environnement, le patrimoine culturel et l'activité économique. Une évaluation est prévue dans le cadre du réexamen régulier du [Plan de gestion des risques d'inondation du district hydrographique international Rhin \(PGRI\)](#) et de la mise en œuvre de la DI sur la base de cycles de 6 ans. De manière analogue à ce qui a été fait pour le PAI, la CIPR doit effectuer à l'avenir une évaluation de l'évolution du risque d'inondation sur le cours principal du Rhin dans son ensemble en tenant compte des mesures mises en œuvre dans le cadre du PGRI.

A cette fin, la CIPR a mis au point un outil d'évaluation pouvant être utilisé à la fois pour vérifier le PAI et pour le PGRI. Les calculs effectués dans le cadre de la CIPR doivent permettre de tirer des leçons d'ordre quantitatif.

A l'opposé de l'évaluation de l'efficacité des mesures prises en 2005 pour lutter contre les inondations dans le cadre du PAI, le champ de l'analyse intègre également à présent les zones en amont d'Iffezheim, le haut Rhin, le lac de Constance et le Rhin alpin. Les résultats soumis dans le présent rapport se réfèrent au cours principal du Rhin dans son ensemble (échelle grossière), autant pour les données d'entrée et leur résolution que pour les références géographiques, et autorisent une estimation de l'impact des mesures dans le cadre de la gestion des risques d'inondation.

Les calculs d'**identification de l'évolution des risques d'inondation** ont donné les résultats suivants au niveau du Rhin :

On constate dans le cadre de l'examen du risque pour la **santé humaine** que la mise en sûreté et l'évacuation des personnes exposées au risque d'inondation est une mesure particulièrement importante.

Diverses mesures aident à atténuer le risque, par ex. la mise en sûreté/évacuation de personnes potentiellement touchées, la sensibilisation, les prévisions de crue et les plans d'avertissement et d'alerte, de même que les mesures modifiant les probabilités. Tous scénarios confondus et dans l'hypothèse que toutes les mesures soient prises, on constate une réduction du nombre de personnes touchées de l'ordre de 20 % à 40 % sur la période 1995-2005, d'env. 70 % à 80 % sur la période 1995-2020 et d'env. 70 % à 90 % sur la période 2015-2030. A l'opposé, l'impact des mesures 'Préservation des surfaces' et 'Protection technique des bâtiments' sur les risques en présence est relativement faible. Les mesures de préservation des surfaces servent en particulier à éviter la formation de nouveaux risques.

Pour les **biens culturels** et l'**environnement**, dont l'analyse se fonde sur les résultats de nouvelles méthodes expérimentales non validées, on constate que les dommages occasionnés aux biens culturels et à l'environnement baissent sous l'effet des mesures dans tous les scénarios plus on progresse dans le temps, et ce indépendamment de la classe de dommages définie à partir de critères d'importance et/ou de vulnérabilité. Ces remarques s'appliquent aussi au risque d'inondation pour ces deux enjeux.

Tous scénarios confondus, on constate une réduction des dommages et des risques correspondant à env. 10 % pour le patrimoine culturel et à env. 5 % pour l'environnement (période 1995-2005) et à une fourchette d'env. 40 % à 70 % (période 1995-2020) et d'env. 50 % à 70 % (période 2015-2030) pour ces deux enjeux.

Il faut toutefois souligner, notamment pour l'environnement, que des enseignements précis sont difficiles à tirer en regard du nombre restreint de données sur les mesures. Comme pour les autres enjeux, la modification du risque est fortement déterminée par la modification des probabilités d'inondation depuis 1995, et plus encore à partir de l'horizon 2020.

Ceci signifie pour l'**activité économique** que l'**objectif du PAI se traduisant par une réduction des dommages liés aux inondations de 10 % d'ici 2005 et de 25 % d'ici 2020 par rapport à 1995 peut être atteint**. Ces enseignements confirment l'étude antérieure réalisée par la CIPR sur l'état 2005 (rapport n° 157). Pour tous les scénarios de crue, les résultats affichent en outre pour l'avenir (période 2015-2030) une réduction du risque d'env. 20 à 45 %.

Les calculs réalisés pour les différents horizons montrent que le rythme de mise en œuvre des mesures a augmenté/augmente avec le temps, ce qui se reflète dans les résultats. Ceci signifie que la mise en œuvre - depuis 1995 - de différentes mesures de prévention et de préparation, y compris celles de prévision et d'avertissement précoce des crues, ainsi que de (préparation de la) gestion de crise, a pour effet d'atténuer au fil du temps la croissance des dommages dans les zones inondables par rapport à la situation sans mesures. Il en va de même pour les mesures du volet de la 'protection', comme par ex. celles de rétention des eaux, qui contribuent à faire baisser le risque. Les mesures de rétention sur le cours principal du Rhin et les mesures néerlandaises du programme « Espace pour le fleuve » contribuent, par abaissement des niveaux d'eau et modification de la probabilité d'inondation en résultant, à réduire sensiblement le risque d'inondation, tout particulièrement celles réalisées depuis 1995 ou prévues pour l'être en 2020 ou 2030 en aval d'Iffezheim.

En fonction de critères d'**efficacité**, d'**efforts à investir pour collecter les données** et de **pertinence des enseignements pour le cours principal du Rhin**, quelques **indicateurs** importants permettent globalement de démontrer les effets et évolutions des mesures de gestion des risques d'inondation. Il s'agit notamment des indicateurs suivants :

- préservation des zones inondables et fixation de règles d'urbanisme (*indicateurs : modification des données relatives à l'occupation des sols et règles et plans d'urbanisme*)
- mise en œuvre de mesures d'abaissement des niveaux d'eau (*indicateur : modification de la probabilité d'inondation*)
- protection contre les inondations (*indicateur : mention d'une probabilité/d'un niveau de protection et d'une évolution/modification dans le temps*)
- sensibilisation de la population, entre autres par mise à disposition de cartes des zones inondables et de cartes des risques d'inondation (*indicateur : fréquence (de remise à jour) des campagnes d'information*)
- Amélioration du système de prévision et d'annonce des crues (*indicateur : amélioration des prévisions des crues*)
- gestion de crise (*indicateurs : présence et fréquence de remise à jour des plans d'alerte et d'intervention ; nombre de systèmes d'avertissement, indication d'un taux minimal et maximal de mise en sûreté des personnes touchées dans une zone donnée*)

A la lumière des expériences acquises, il suffit de poursuivre les travaux sur les indicateurs susmentionnés pour être en mesure d'évaluer efficacement les mesures au niveau du cours principal du Rhin.

La CIPR prévoit d'**utiliser** à l'avenir l'outil d'identification mis au point entre 2014 et 2016 **pour ses vérifications régulières du PGRI du DHI Rhin** et de perfectionner la méthode.

La CIPR approuve l'idée de **transmettre l'outil et d'en autoriser l'utilisation, de même que celle de la méthode sur laquelle il se fonde**, non seulement à **tous les Etats du bassin du Rhin** mais également à d'autres autorités publiques régionales et nationales du bassin du Rhin (Etats/régions/Länder ou entités de plus petite taille).

Cette offre de la CIPR s'applique également aux **autres commissions internationales et nationales de bassin ou à des Etats intéressés**, c'est-à-dire à d'autres districts hydrographiques ou commissions de bassin, instituts de recherche, universités, organisations intergouvernementales et organisations non gouvernementales.

On soulignera dans le cas d'utilisation de l'outil dans d'autres bassins ou sous-bassins fluviaux que ceux-ci doivent disposer des bases de données requises pour les calculs et que celles-ci doivent être traitées de manière à pouvoir être appliquées dans l'outil.

Introduction

En 1998, les Etats riverains du Rhin ont convenu dans le Plan d'Action contre les Inondations (PAI, 1998) quatre grands objectifs, l'un étant de réduire le risque de dommages liés aux inondations de 10% d'ici 2005 et de 25% d'ici 2020 par rapport à 1995. Jusqu'à présent, la CIPR a régulièrement réalisé des évaluations dans le cadre du PAI. Pour déterminer la réduction des risques de dommages, on s'est fondé en 2000 et 2005 sur une méthode plutôt qualitative (voir rapport CIPR n° 157).

L'objectif central de la directive sur la gestion des risques d'inondation (DI ; directive 2007/60/CE) entrée en vigueur en 2007, est de réduire les conséquences négatives potentielles d'une inondation pour la santé humaine, l'environnement, le patrimoine culturel et l'activité économique. Une évaluation est prévue dans le cadre du réexamen régulier du [Plan de gestion des risques d'inondation du district hydrographique international Rhin \(PGRI\)](#) et de la mise en œuvre de la DI sur la base de cycles de 6 ans. De manière analogue à ce qui a été fait pour le PAI, la CIPR doit effectuer à l'avenir une évaluation de l'évolution du risque d'inondation sur le cours principal du Rhin dans son ensemble en tenant compte des mesures mises en œuvre dans le cadre du PGRI.

A cette fin, la CIPR a mis au point un outil d'évaluation pouvant être utilisé à la fois pour vérifier le PAI et pour le PGRI Rhin, partie A. Les calculs effectués dans le cadre de la CIPR doivent permettre de tirer des leçons d'ordre quantitatif.

Le risque d'inondation est défini comme le produit des dommages potentiels et de leur probabilité d'occurrence. La DI fait la distinction entre santé humaine, environnement, patrimoine culturel et activité économique. Pour les quatre enjeux, l'examen se focalise sur les conséquences/dommages directs¹ occasionnés par les inondations.

Pour déterminer les risques d'inondation auxquels sont exposés les quatre enjeux, on intègre dans les calculs les indications nationales rassemblées pour le Rhin dans les cartes des risques d'inondation (CRI) dressées au titre de la DI (voir [Atlas du Rhin 2015](#)). En outre, les mesures théoriques, planifiées ou réalisées, conformément à la classification de la DI (voir « [Guidance for Reporting under the Floods Directive \(2007/60/EC\)](#) ») sont prises en compte et leur effet sur la réduction du risque est estimé.

Dans le cas de la santé humaine, le paramètre retenu est celui du nombre de personnes touchées par une inondation.

Une autre approche est choisie pour les enjeux 'environnement' et 'patrimoine culturel' avec une classification combinant des classes de hauteur d'eau et des classes de vulnérabilité des zones protégées potentiellement touchées et d'importance du patrimoine culturel. Il en résulte une matrice qui permet d'évaluer les dommages potentiels.

Pour déterminer le risque concernant l'activité économique, on utilise les cartes d'occupation des sols Corine Land Cover (CLC) et les cartes des zones inondables (CZI) établies au titre de la DI (voir [Atlas du Rhin 2015](#)) et disponibles pour le cours principal du Rhin dans son ensemble, bien que les différents Etats utilisent le plus souvent des cartes d'occupation des sols plus détaillées disponibles au niveau national. Pour l'activité économique, il est déterminé un risque monétaire à partir d'une hauteur d'inondation, d'une période de retour et de valeurs patrimoniales données.

¹ Les dommages indirects, par ex. ceux dus aux interruptions de production, ne sont donc pas estimés.

Les mesures qui ont un impact sur le risque d'inondation peuvent se décliner en mesures ayant un effet sur la probabilité d'inondation² et en mesures ayant des répercussions négatives sur les conséquences potentielles/les dommages.

Des catégories de mesures ont été déterminées au niveau de l'UE dans le cadre de la DI. Les catégories de mesures utilisées ici sont subdivisées comme suit : 'prévention', 'protection' et 'préparation'. Les deux catégories 'prévention' et 'préparation' englobent des mesures qui limitent en premier lieu les conséquences potentielles des inondations, par ex. des mesures non structurelles, de sensibilisation, d'établissement de prévisions et de gestion de crise. Les mesures de 'protection' se répercutent en premier lieu sur la modification de la probabilité d'inondation, par exemple sous forme d'abaissement des niveaux d'eau dans le cas de mesures de rétention telles que les espaces de rétention et les reculs de digues.

On a défini des « indicateurs » pour suivre le processus de mise en œuvre des mesures prévues. Ils doivent :

- être représentatifs de grands groupes de mesures et
- être également mesurables avec les bases de données disponibles.

Pour chaque indicateur, il est défini un rapport entre le degré de réalisation d'une mesure et les conséquences en découlant, soit sur la base de données quantifiées quand il est possible de les obtenir, soit également sur la base de 'jugements d'experts'. L'effet d'une mesure résulte de la combinaison de son effet maximal potentiel et de son degré de réalisation associé à chaque échéance temporelle et à chaque secteur géographique.

Les systèmes d'information géographique (SIG) offrent de bonnes opportunités de combinaison de différents types d'informations et de données pour réaliser une analyse du risque. A cette fin, la CIPR a mandaté le consortium HKV Hydrokontor et HKV Lijn in Water de mettre au point un outil correspondant sous forme d'application SIG.

1. Méthode d'identification des effets des mesures sur le risque d'inondation et résultats des calculs

Le chapitre 1 présente la méthode et les résultats des calculs effectués pour les horizons 1995, 2005, 2015, 2020 et 2020plus³ (~2030) pour les quatre enjeux 'santé humaine', activité économique', patrimoine culturel' et 'environnement'.

1.1 Méthode de calcul

La CIPR a mis au point une **méthode** quantitative **devant permettre d'identifier les risques d'inondation et l'effet de mesures de réduction des risques**. Cette méthode a servi à évaluer l'évolution des risques d'inondation de 1995 à 2015 et 2020 au titre de la mise en œuvre du Plan d'Action contre les Inondations et à vérifier régulièrement les effets de mesures sur le risque d'inondation dans le cadre du PGRI, partie A. Elle peut également être appliquée à d'autres (sous-)bassins si les bases de données requises sont disponibles. La méthode a été mise au point sous forme d'application SIG.

Les données de base de la méthode reposent sur la DI et ses cartes des zones inondables (CZI) pour des inondations de probabilité faible, moyenne ou forte (désignées par la suite HQextreme, HQmedium et HQhigh) et leurs hauteurs d'eau respectives et sur différents types

² On renverra au rapport CIPR n° 229 à propos de l'identification de la (modification de la) probabilité d'inondation.

³ Mesures du PAI/PGR1 qui seront réalisées après 2020. Elles sont désignées sous le titre 'état d'aménagement 2030'.

de mesures. Sont également introduites dans les calculs les données issues des cartes des risques d'inondation (CRI) pour les quatre enjeux (santé humaine, environnement, patrimoine culturel et activité économique). 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.

Le consortium HKV et la CIPR ont réalisé des calculs des dommages et des risques pour les quatre enjeux (santé humaine, activité économique, patrimoine culturel et environnement) et pour les horizons 2005, 2015, 2015, 2020 et 2030. A ces calculs se sont ajoutés ceux de l'effet des différentes mesures.

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.

Les Etats ont collecté des données sur le degré de réalisation ou sur la mise en œuvre prévue de ces mesures et indicateurs à différents horizons (1995, 2005, 2015, 2020, 2030). Ces données ont été regroupées au niveau de la CIPR.

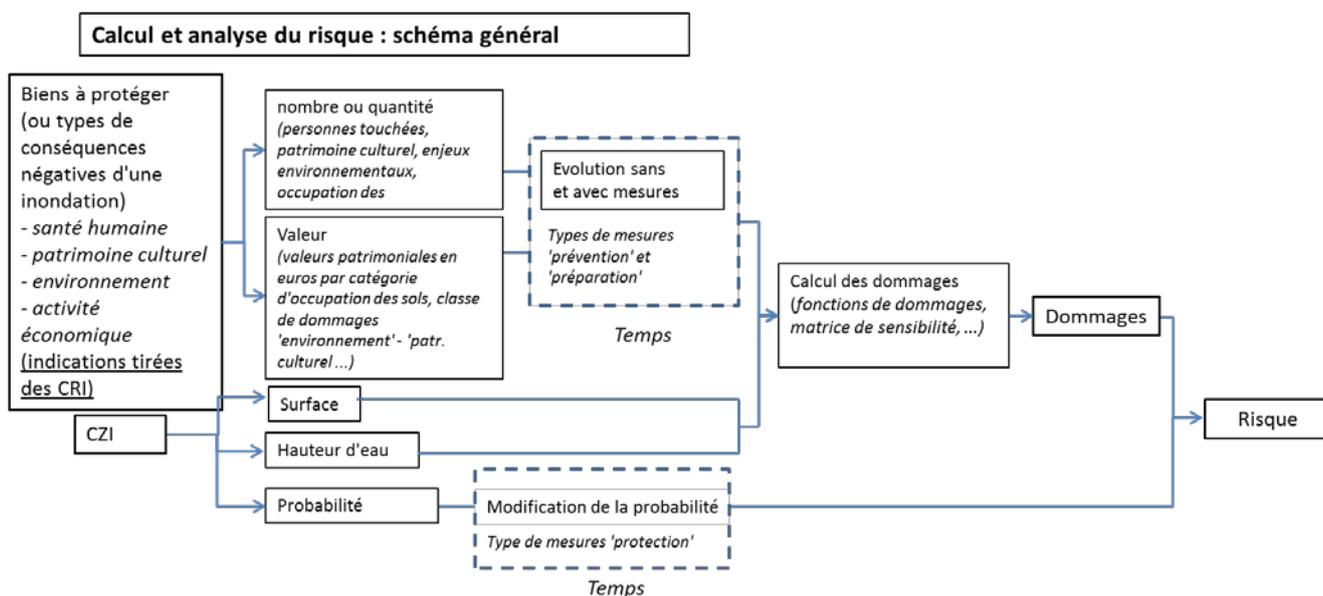


Figure 1 : méthode appliquée à l'analyse des risques

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. L'effet général des mesures sur l'évolution des dommages, sur la probabilité d'inondation et sur le risque d'inondation est reproduit dans la figure 2 (et dans l'annexe 1).

On peut retenir en règle générale que les mesures non structurales de 'prévention' et de 'préparation' font baisser les dommages ou, en d'autres termes, atténuent la croissance normale des dommages. Les mesures dans le volet de la 'protection' qui abaissent les niveaux d'eau et qui réduisent par conséquent l'étendue de l'inondation peuvent également faire baisser les dommages. Dans le cadre de la présente étude, les mesures de protection n'ont toutefois été prises en compte qu'au travers de la modification/baisse des probabilités d'inondation découlant des mesures d'abaissement des niveaux d'eau ou de rétention des eaux mises en œuvre ou prévues (cf. chapitre 1.6), ce qui a un impact sur le risque et non sur les dommages. La réduction des dommages et, par suite, des risques d'inondation qui est estimée

dans le cadre de la présente étude, est donc éventuellement sous-estimée. La raison en est que l'enveloppe des inondations n'est disponible que pour l'état 2015 et non pas pour les autres horizons.

L'évolution future de la probabilité d'inondation sans prise en compte des mesures est également fonction de l'impact du changement climatique. Les effets possibles du changement climatique sur les débits n'ont pas été pris en compte dans cette étude.

Quand on combine dommages, probabilité d'inondation et mesures, on obtient une modification du risque d'inondation.

Cette approche vaut fondamentalement pour **les quatre enjeux**.

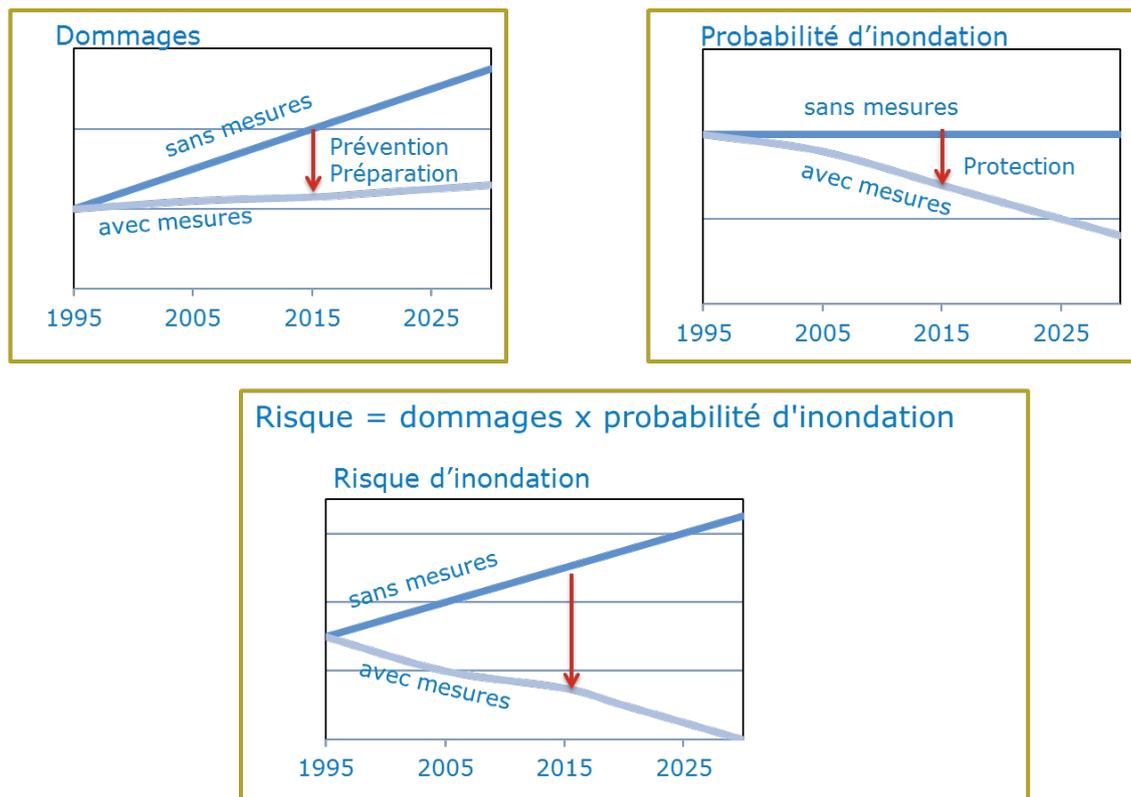


Figure 2 : définition du risque d'inondation et effet des différentes mesures

La méthode spécifique d'estimation des risques d'inondation et de l'effet des mesures sur l'évolution de ces risques, de même que les bases de données disponibles mises en commun à échelle grossière pour le bassin du Rhin peuvent s'écarter des méthodes nationales de calcul et des résultats nationaux fondés sur des bases de données plus précises (par 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 résultats sont présentés sous la forme, plus fiable, de modifications relatives.

1.2 Santé humaine

La méthode de prise en compte de l'enjeu 'santé humaine' est reproduite dans la figure 3.

Une première étape consiste à identifier la population touchée à partir de classes de hauteur d'eau et pour chaque scénario de crue.

La santé humaine est définie dans ces calculs comme le nombre de personnes potentiellement touchées par une inondation dans la zone inondée déterminée. Cette approche permet de prendre également en compte les mesures de type 'préservation de surfaces' et 'prévention en matière de constructions' qui ont un effet modificateur sur le nombre de personnes touchées à différents horizons.

De cette information découle, dans une seconde étape, le nombre de personnes qui peuvent être évacuées dans une région avant que survienne une éventuelle inondation (= « taux de mise en sûreté ») et qui sont ainsi mises hors de danger. Le « taux de mise en sûreté » peut être amélioré au moyen de mesures de sensibilisation, de prévision, d'avertissement et de gestion de crise.

Le risque est calculé de la manière suivante :

Risque 'santé humaine' = nombre de personnes touchées x (1 - taux de mise en sûreté) x probabilité [nombre/an]

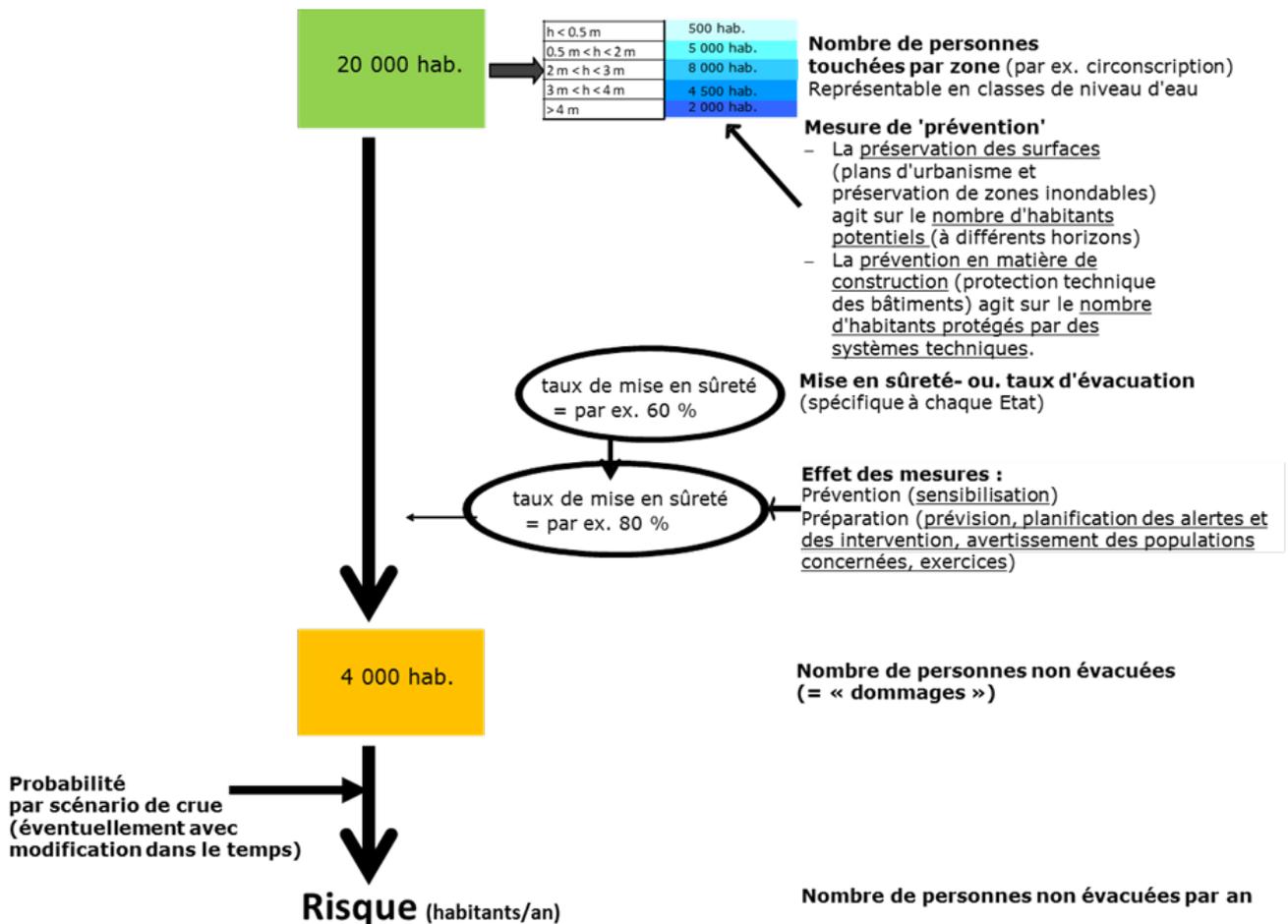


Figure 3 : analyse des risques d'inondation et effet des mesures sur la 'santé humaine'.

1.3 Environnement

Cette nouvelle méthode d'évaluation des risques environnementaux liés aux inondations⁴ part du principe que les dommages occasionnés aux masses d'eau de surface en bon ou très bon état écologique et aux zones protégées au titre de la DCE⁵ ne sont pas générés par la crue proprement dite mais par l'inondation d'entreprises et d'installations que cette crue provoque. On entend par conséquences négatives les pollutions des eaux et du champ d'inondation causées par les installations potentiellement polluantes (établissements classés⁶, parties d'établissements SEVESO⁷ et stations d'épuration) à la suite d'une inondation. Les éventuels dommages occasionnés par l'impact direct d'une inondation sur l'environnement ne sont pas pris en compte dans la présente étude.

L'évaluation des dommages pour l'environnement (voir figure 4) passe par 2 étapes :

- La première étape consiste à combiner potentiel de pollution de l'installation et hauteur d'eau. Le risque le plus élevé est obtenu quand sont combinés le plus fort potentiel de pollution et la hauteur d'eau maximale. Le risque est déterminé et intégré dans une échelle qualitative (de 1 à 5) pour chaque installation et chaque scénario de crue.
- On combine dans une seconde étape l'importance écologique d'une zone protégée et le risque auquel elle est exposée.

Cette évaluation débouche sur trois classes de dommages : faible, moyenne, élevée et délivre un indice pour chaque zone protégée.

Dans le cadre de la présente étude, les indices de dommages ont été additionnés pour chaque scénario de crue et pour chaque horizon (= somme des indices de dommages).

En multipliant cette somme des indices de dommages par la probabilité d'inondation, on obtient le risque (= somme des indices de dommages par an).

Sont également 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).

Plus une installation est protégée contre les inondations, moins la zone potentiellement touchée en aval est étendue et moins le risque que soit touchée une zone de captage d'eau potable ou une zone protégée est grand.

⁴ Cette approche simplifiée pour l'estimation des risques d'inondation à échelle grossière s'écarte parfois nettement des analyses du risque d'inondation effectuées pour de telles installations dans le cadre des plans de gestion du risque d'inondation.

⁵ Annexe IV, numéro 1, alinéas i et v de la 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

⁶ Installations au titre de la directive 96/61/CEE relative à la prévention et à la réduction intégrée de la pollution (directive PRIP, remplacée ensuite par la directive 2010/75/UE relative aux émissions industrielles - EI). Les installations EI devront être analysées dans les futures versions perfectionnées de l'outil.

⁷ Parties d'établissement aux termes de la directive 96/82/CE concernant la maîtrise des dangers liés aux accidents majeurs impliquant des substances dangereuses (appelée communément directive 'Seveso II'). Cette directive a été remplacée à compter du 1^{er} juin 2015 par la directive 2012/18/UE (directive Seveso III ou directive 'Accidents').

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

1.4 Patrimoine culturel

Les dommages occasionnés aux biens culturels peuvent être estimés sous forme quantitative au moyen d'une combinaison de l'importance d'un bien culturel donné⁸ (en fonction du patrimoine considéré : patrimoine culturel de l'humanité UNESCO, sites d'intérêt historique, monuments historiques) et de la hauteur d'eau. La matrice mise au point ici autorise une évaluation relative non monétaire.

Quand sont croisées les données pour une importance/valeur définie pour un bien culturel et les hauteurs d'eau, on obtient une matrice d'évaluation spécifique des dommages pour les biens culturels (cf. tableau 1). Alors que les dommages attendus sont bas quand la valeur culturelle du bien considéré est faible et que les niveaux d'eau sont inférieurs à 2 m, des niveaux d'eau dépassant 2 m ou plus se traduisent par des dommages moyens ou élevés.

Pour chaque bien culturel, l'évaluation de la matrice débouche sur un indice de dommages auquel est attribué une des trois classes de dommages : faible, moyenne ou élevée. Dans le

⁸ Une méthode simplifiée a été mise au point sur la base des données agrégées pour l'estimation des risques d'inondation à échelle grossière. Le choix des biens culturels et leur classification en termes « d'importance » s'écarte parfois fortement de la méthode utilisée dans le cadre des plans de gestion des risques d'inondation.

cadre de la présente étude, tous les indices de dommages d'un bien sont additionnés toutes classes de dommages confondues (= somme des indices de dommages). En multipliant cette somme des indices moyens de dommages par la probabilité d'inondation, on obtient le risque (= somme des indices moyens de dommages par an).

Les mesures faisant effet sont les mêmes que pour l'enjeu 'activité économique' (voir chapitre 1.5), comme il est détaillé en annexe.

Tableau 1 : matrice d'évaluation des dommages occasionnés aux biens culturels

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		

1.5 Activité économique

Les dommages économiques potentiels sont calculés au moyen des cartes d'occupation des sols (dans le cas présent les cartes Corine Land Cover = CLC2006) et des trois cartes de profondeur d'eau pour les trois scénarios de crue, et à l'aide des fonctions de dommages « profondeur d'eau/dommages⁹ » et des valeurs patrimoniales (tirées de l'Atlas CIPR du Rhin 2001) pour les catégories zones urbaines, industrie, trafic, agriculture et sylviculture.

Les valeurs patrimoniales sont adaptées à la situation/période réelle considérée (année) au moyen du taux de croissance économique et/ou de l'indice des prix à la consommation. En multipliant les dommages par la probabilité d'inondation, qui peut également évoluer sous l'effet d'autres mesures mises en œuvre pour abaisser les niveaux d'eau (cf. chap. 1.6), on obtient le risque (voir figure 5).

Il n'est pas tenu compte des dommages économiques indirects dus à des pertes de production dans les entreprises touchées ou à l'interruption des chaînes de livraison. Ces dommages peuvent parfois dépasser plusieurs fois les dommages potentiels directs, par exemple dans le secteur automobile. Dans le cadre de l'analyse du risque d'inondation à échelle grossière suivie dans la présente étude, on ne disposait pas des données détaillées nécessaires pour un calcul des dommages économiques indirects qui s'imposerait en appliquant à une échelle fine l'approche fondamentale suivie ici.

⁹ La vitesse du courant n'est pas prise en compte dans cet examen à échelle grossière.

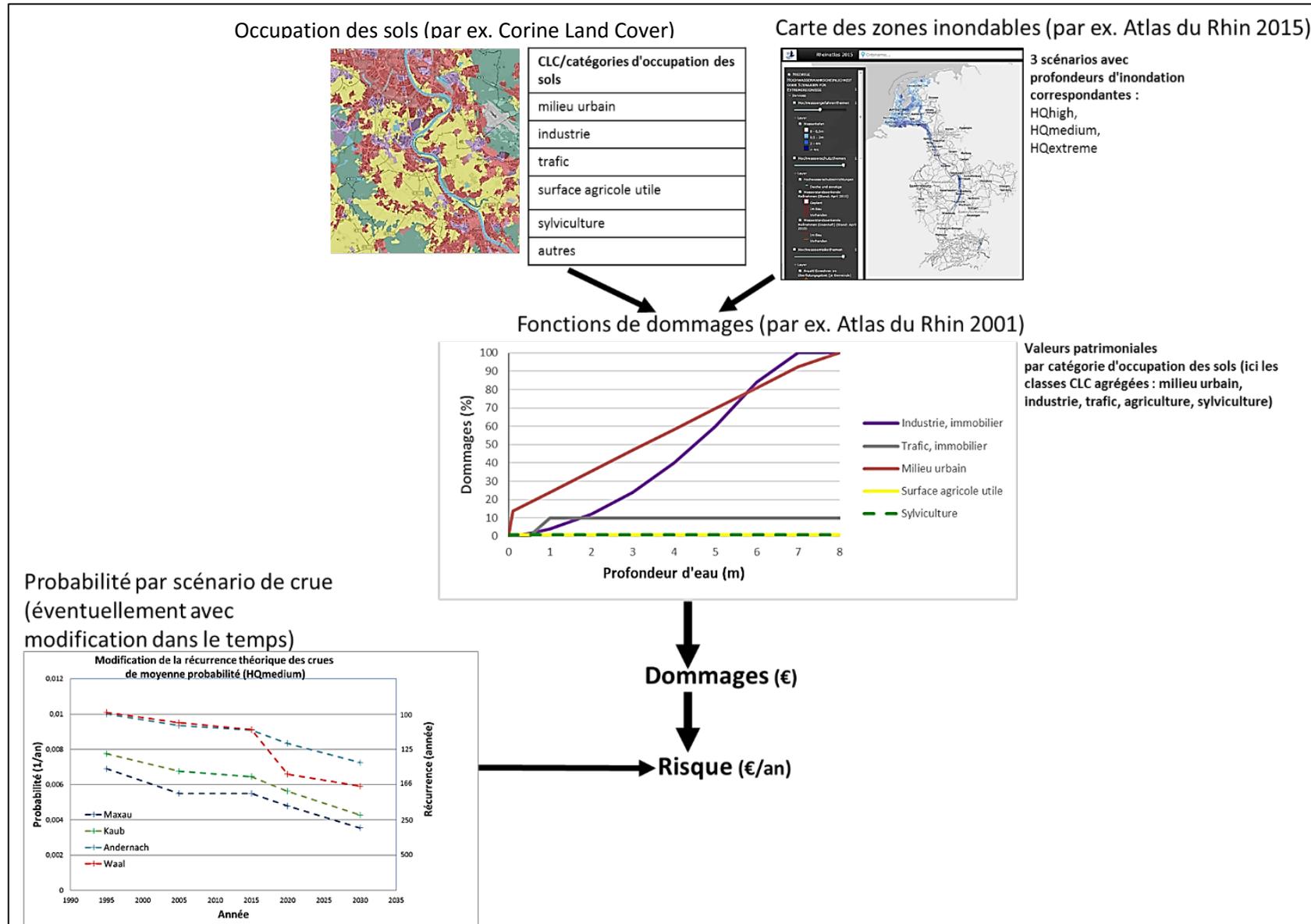


Figure 5 : méthode suivie pour l'analyse du risque d'inondation relatif à l'activité économique

1.6 Modification de la probabilité d'inondation sous l'effet des mesures de réduction des crues

Seules les mesures de protection technique ont un effet sur l'évolution du risque, en cela qu'elles modifient la probabilité d'inondation.

Les mesures de protection contre les inondations déjà mises en œuvre ou devant l'être dans le cadre du PAI jusqu'en 2015, et celles devant l'être par la suite dans le cadre de la mise en œuvre de la DI, ont été prises en compte dans la présente analyse au travers des calculs de la modification des probabilités.

Après avoir évalué dans son rapport n° 199 l'efficacité des mesures réalisées ou planifiées de réduction des crues et d'abaissement des niveaux d'eau sur le Rhin (mesures de rétention, mesures du programme « Espace pour le fleuve » aux Pays-Bas), la CIPR a mis au point une méthode visant à estimer la modification de la probabilité d'inondation (cf. rapport CIPR n° 229).

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. Les mesures en amont de Bâle impactant les probabilités n'ont pas été prises en compte dans l'analyse. On est parti de l'hypothèse que l'état des digues était suffisant conformément aux normes nationales alors en vigueur. L'état réel des digues, et par conséquent les améliorations apportées par la suite (comme par ex. dans le cadre du programme néerlandais 'Deltaplan Grote Rivieren' - DGR), n'ont donc pas non plus été incorporés aux calculs de probabilité réalisés dans le rapport CIPR n° 229.

On obtient comme résultats de l'évaluation de la modification de la probabilité d'inondation des récurrences modifiées pour les crues de probabilité élevée, moyenne et faible (HQhigh, HQmedium, HQextreme) pour les horizons/états d'aménagement 1995, 2005, 2010¹⁰, 2020 et 2030 (cf. valeurs et indications détaillées dans le rapport CIPR n° 229).

Ces probabilités ont ensuite été utilisées comme données d'entrée pour le présent calcul des risques à l'aide de l'outil d'identification (voir figures 7 à 9).

Dans l'ensemble, les résultats montrent que des réductions du niveau d'eau dues à différentes mesures d'abaissement du niveau d'eau sur le Rhin peuvent également entraîner une baisse de la probabilité d'inondation, ce qui signifie à l'inverse que la récurrence augmente.

¹⁰ L'état 2010 a été utilisé pour l'horizon 2015 dans les présents calculs.

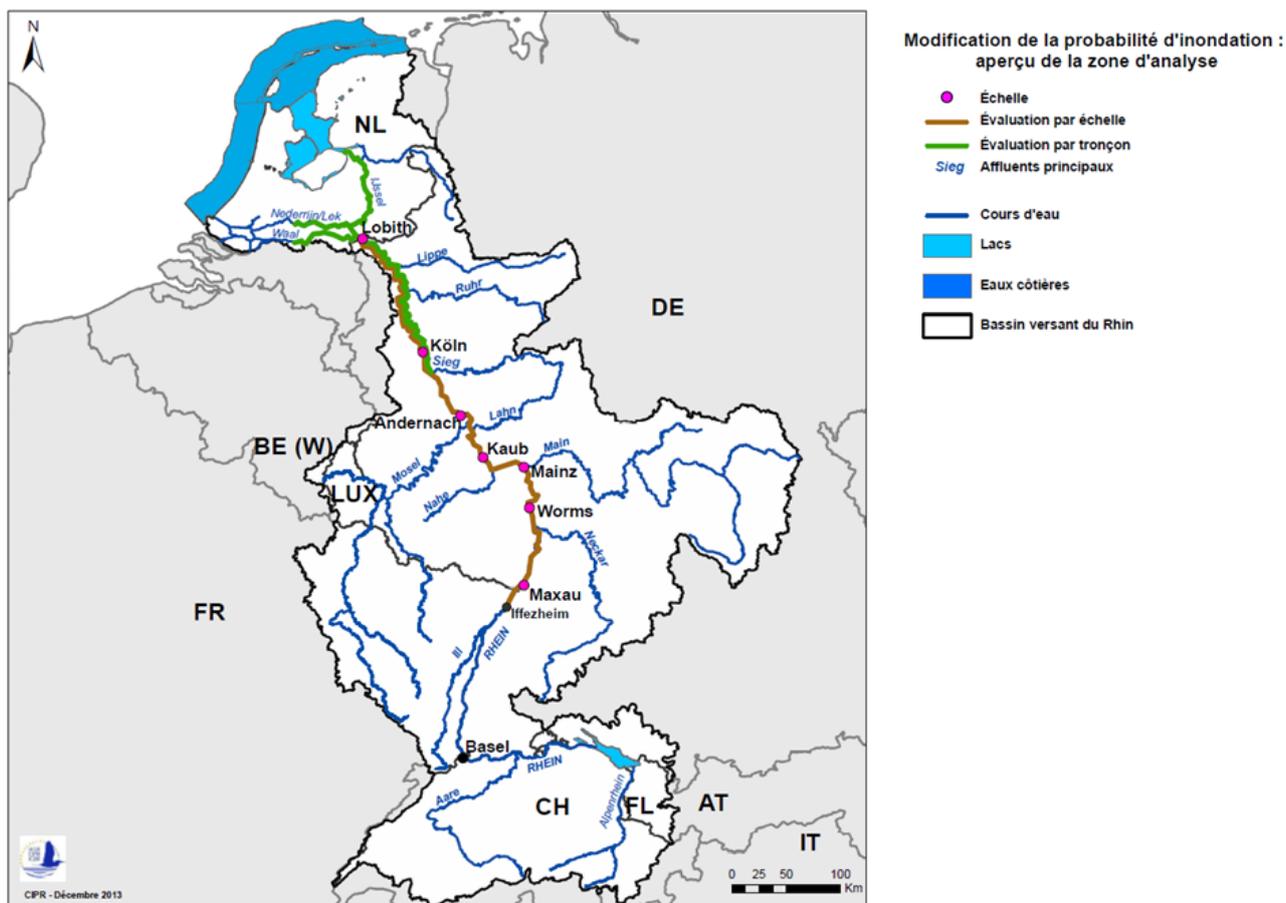


Figure 6 : vue générale des échelles dans le cadre de l'identification de la modification de la probabilité

Les probabilités (axe gauche des ordonnées) et les récurrences (axe droit des ordonnées) sont reproduites pour différentes années au niveau de quatre échelles (cf. carte de la figure 6 : trois échelles en Allemagne et une échelle sur le Waal, bras du Rhin en territoire néerlandais) pour HQhigh, HQmedium et HQextreme dans les trois graphiques suivants (cf. figures 6, 7 et 8). Les trois figures 7, 8 et 9 correspondent aux scénarios HQhigh, HQmedium et HQextreme.

L'abaissement des niveaux d'eau atteint ou à atteindre au moyen de mesures de rétention et de mesures donnant plus d'espace au fleuve a pour conséquence de réduire la probabilité d'une inondation et, par conséquent, de continuer à faire baisser le risque d'inondation.

Exemple de calcul de la figure 7 : La ligne pointillée en rouge (Waal) montre une modification des récurrences sur l'axe temps faisant passer une crue décennale HQhigh en 1995 à une crue d'une récurrence de 12 ans en 2030. Il en découle qu'une réduction de la probabilité d'inondation rend une crue HQhigh moins fréquente.

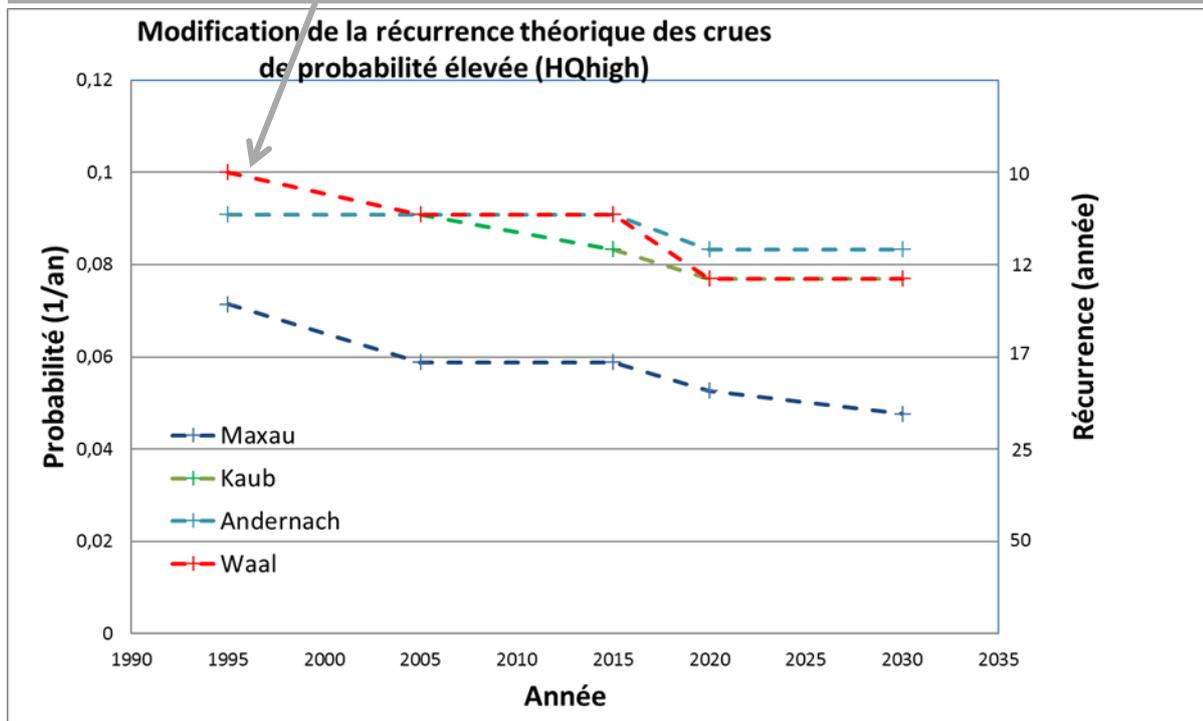


Figure 7 : probabilité (axe gauche des ordonnées) et modification de récurrence (axe droit des ordonnées) d'un scénario HQhigh pour différentes années et au niveau de quatre échelles différentes (Rhin/Waal)

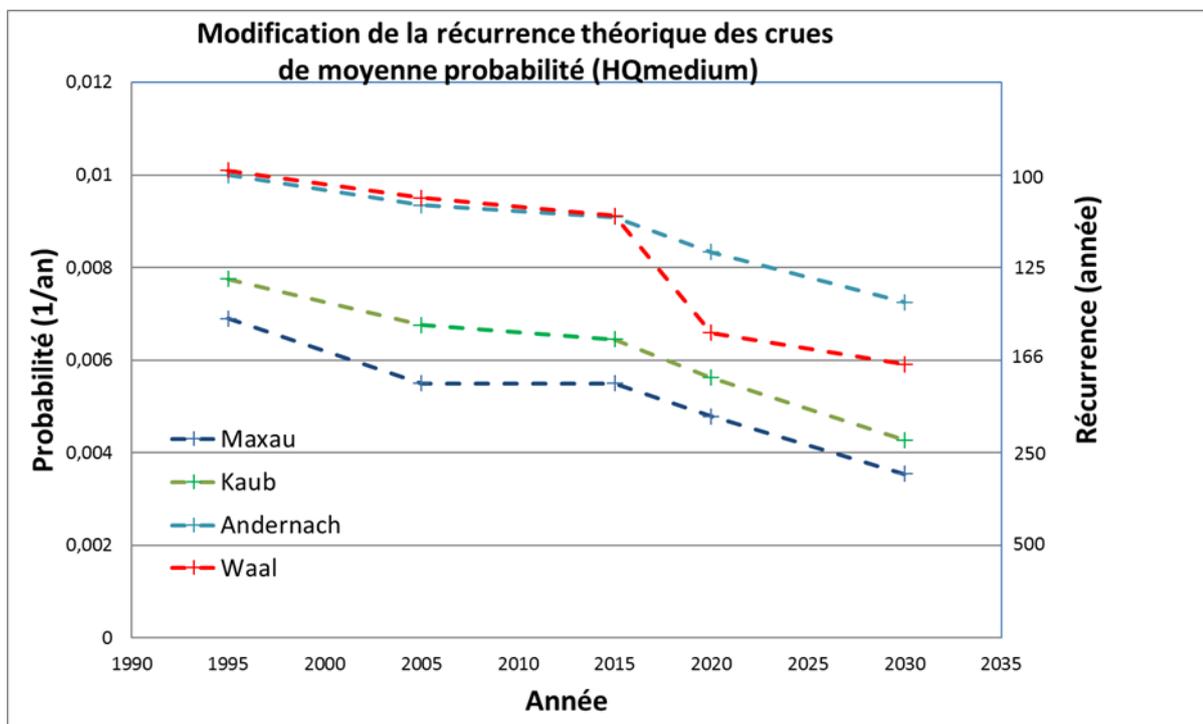


Figure 8 : probabilité (axe gauche des ordonnées) et modification de récurrence (axe droit des ordonnées) d'un scénario HQmedium pour différentes années et au niveau de quatre échelles différentes (Rhin/Waal)

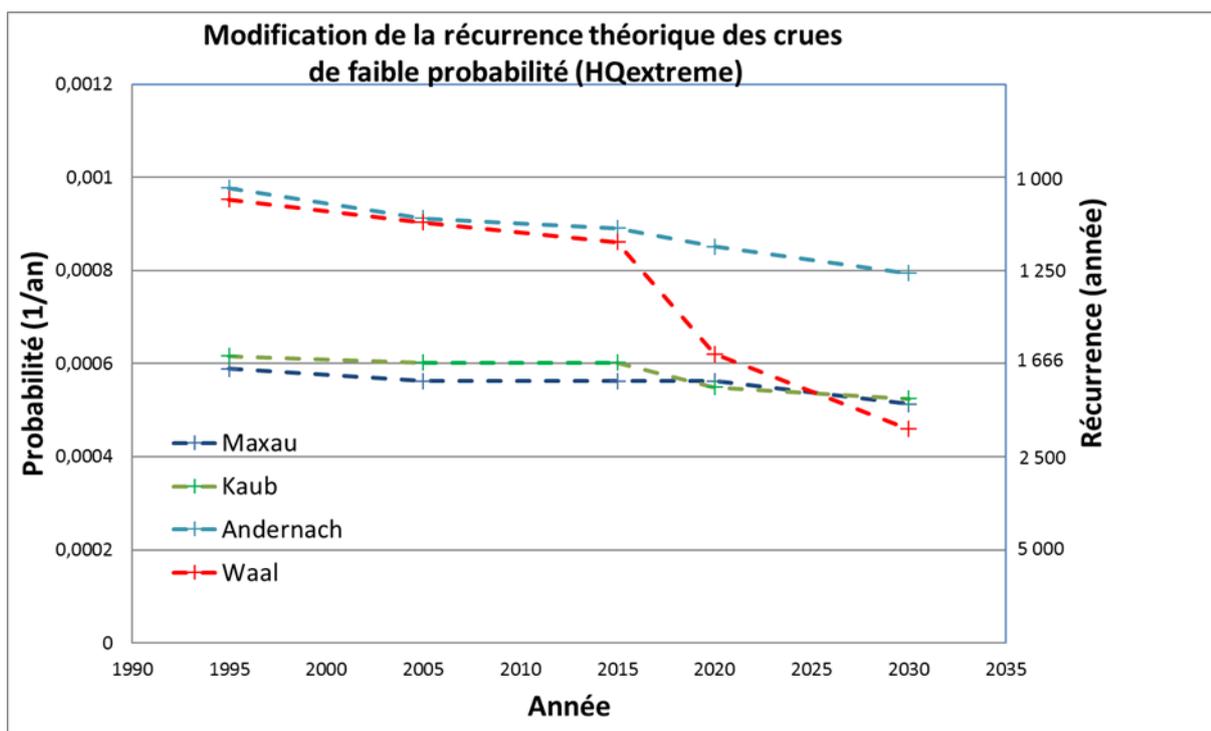


Figure 9 : probabilité (axe gauche des ordonnées) et modification de récurrence (axe droit des ordonnées) d'un scénario HQextreme pour différentes années et au niveau de quatre échelles différentes (Rhin/Waal)

2. Résultats de l'évaluation

Le chapitre 2 présente les résultats des calculs effectués pour les horizons 1995, 2005, 2015, 2020 et 2030 (~2030) pour les quatre enjeux 'santé humaine', 'environnement', 'patrimoine culturel' et 'activité économique'. Les résultats des calculs sont présentés par rapport à l'atteinte du 1^{er} objectif opérationnel du PAI (= réduction des risques de dommages de 10 % en 2005 et de 25 % en 2020 par rapport à 1995¹¹) et à l'atteinte d'une réduction des conséquences négatives pour la santé humaine, l'environnement, le patrimoine culturel et l'activité économique associées aux inondations visées dans le cadre de la mise en œuvre de la DI.

2.1 Généralités

Les principaux aspects et conclusions tirés de l'évaluation des résultats des calculs effectués pour les quatre enjeux au niveau du cours principal du Rhin dans son ensemble sont résumés dans les chapitres 2.2 à 2.4.

On peut dire globalement que la combinaison de mesures de réduction des dommages d'une part et de modifications des probabilités obtenues par réalisation des mesures d'abaissement des niveaux d'eau d'autre part se traduit par une réduction du risque au fil du temps.

L'approche méthodologique suivie par la CIPR pour la santé humaine, l'environnement et le patrimoine culturel est en partie expérimentale et peut s'écarter des résultats des études nationales.

¹¹ Hypothèse : l'état 1995 correspond à l'état sans mesures

Des valeurs absolues sont certes calculées pour les risques mais les modifications relatives sont jugées plus fiables.

2.2 Santé humaine (personnes potentiellement touchées)

Sans mesures, la population (= les personnes potentiellement touchées en cas d'inondation) stagne ou augmente sur l'ensemble de la période considérée (1995-2030) sans mesures (cf. figure 10). Le nombre maximal de personnes touchées est atteint en situation de crue extrême car la surface inondable est la plus étendue dans ce scénario de crue.

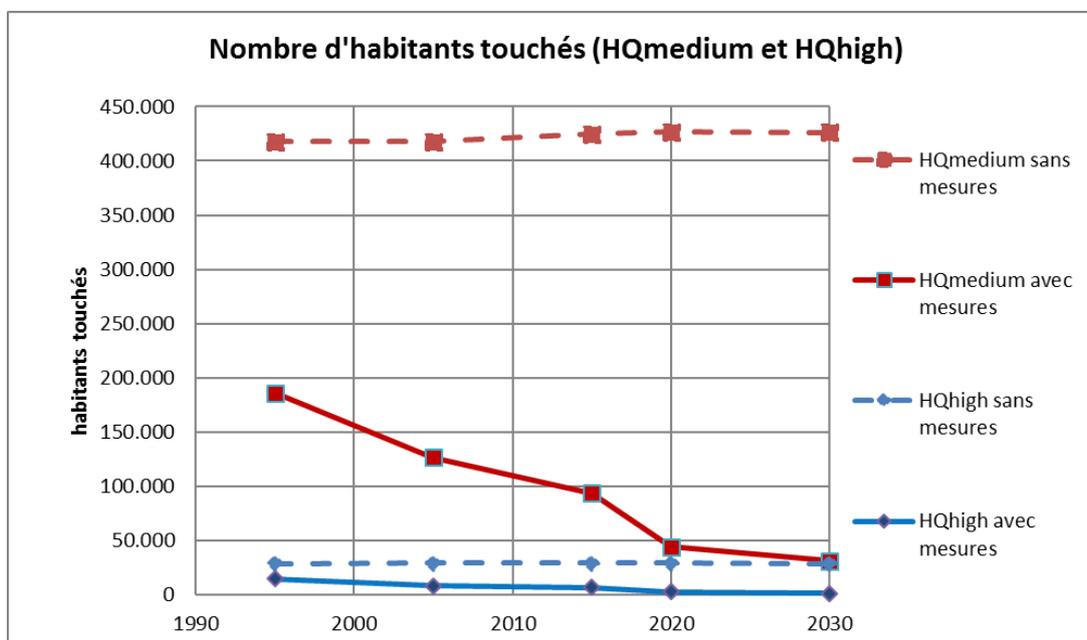
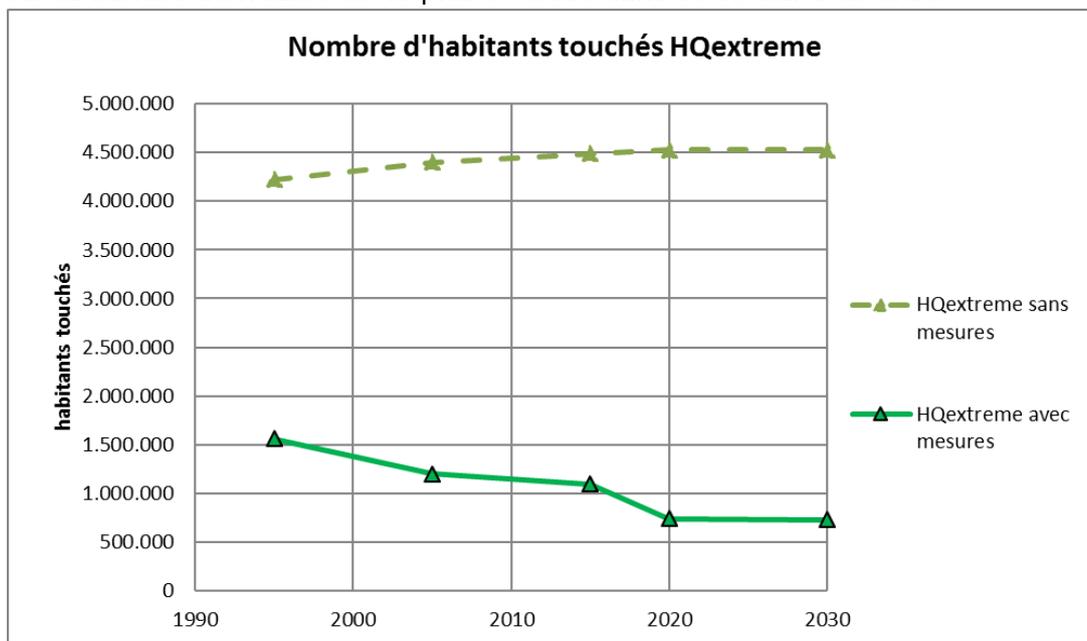


Figure 10 : évolution du nombre de personnes touchées par les inondations

Pour la période considérée, le risque baisse essentiellement sous l'impact de mesures de type 'mise en sûreté/évacuation' et sous l'effet de la modification de la probabilité par prise de mesures d'abaissement des niveaux d'eau. D'après les calculs, les risques pour la santé

humaine (= nombre de personnes potentiellement touchées) sont les plus élevés en cas de HQmedium et HQextreme (cf. figure 11 et tableau 2).

Les mesures de type 'Préservation des surfaces' et 'Protection technique des bâtiments' ont un impact relativement faible sur le nombre de personnes touchées avant mise en œuvre des mesures de mise en sûreté (c'est-à-dire avant qu'elles soient évacuées/amenées en lieu sûr).

Tableau 2 : évolution du risque

	Modification relative du risque depuis 1995 (%)				Modification relative du risque depuis 2015 (%)	
	1995-2005	1995-2015	1995-2020	1995-2030	2015-2020	2015-2030
HQhigh	-45	-50	-85	-90	-70	-80
HQmed	-35	-50	-90	-95	-80	-85
HQ ext	-25	-35	-75	-80	-60	-70

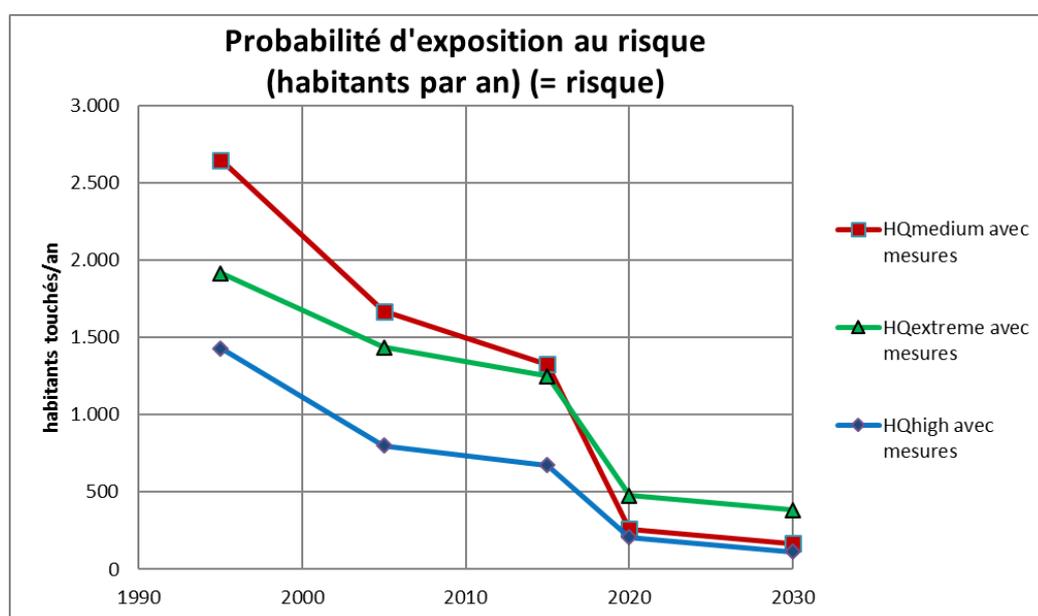


Figure 11 : probabilité d'exposition au risque avec prise en compte de toutes les mesures (personnes touchées/an) (= risque)

2.3 Environnement

Pour l'enjeu 'environnement', on constate que la somme des indices de dommages¹² (avec prise en compte des mesures¹³) accuse une légère baisse ou stagne sur la période considérée (1995-2030). Les dommages sont provoqués pour la plupart par les crues extrêmes. De plus, la superficie des zones protégées dépendant du milieu aquatique augmente quand les crues tendent vers une amplitude extrême (*non représenté*).

Les mesures prises ('protection technique des bâtiments' des sites industriels et des STEP et 'stockage de substances dangereuses pour les eaux adapté aux risques d'inondation' dans les sites industriels et les ménages) permettent de réduire la somme des dommages environnementaux sur la période 1995-2015 pour trois scénarios de crue. A partir de 2015, il

¹² Somme des indices de dommages = somme des dommages environnementaux toutes classes de dommages confondues

¹³ NB : Le calcul des dommages potentiels pour l'environnement sans mesures est identique pour les cinq horizons, les données d'entrée étant les mêmes.

n'y a plus de réduction des dommages puisque les mesures pour les horizons 2020 et 2030 restent inchangées (cf. figure 12).

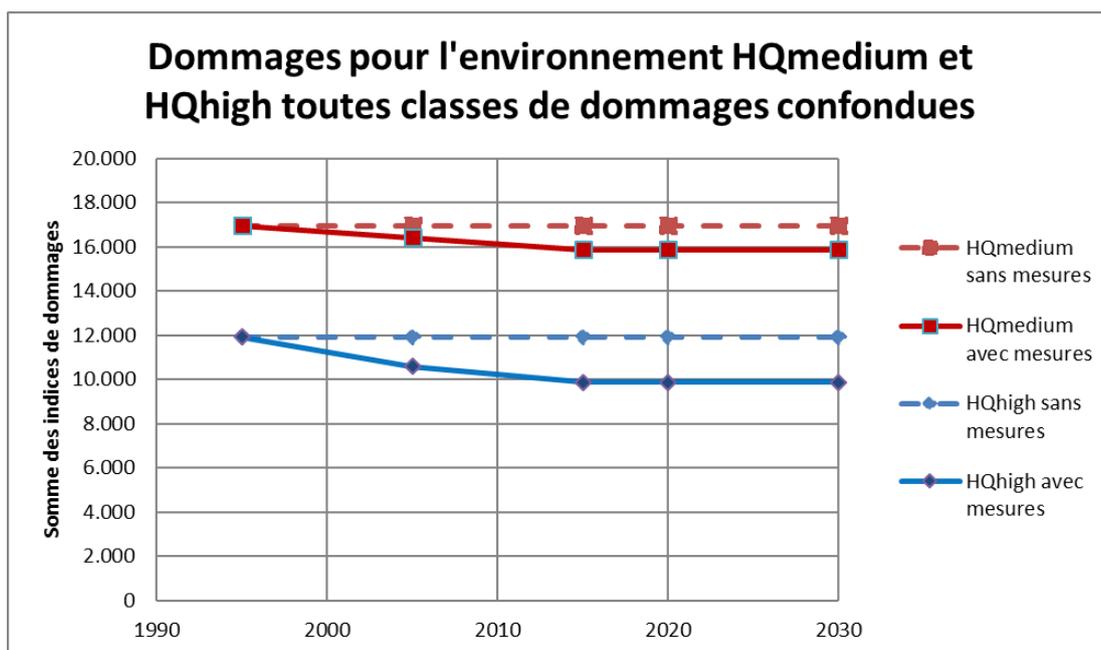
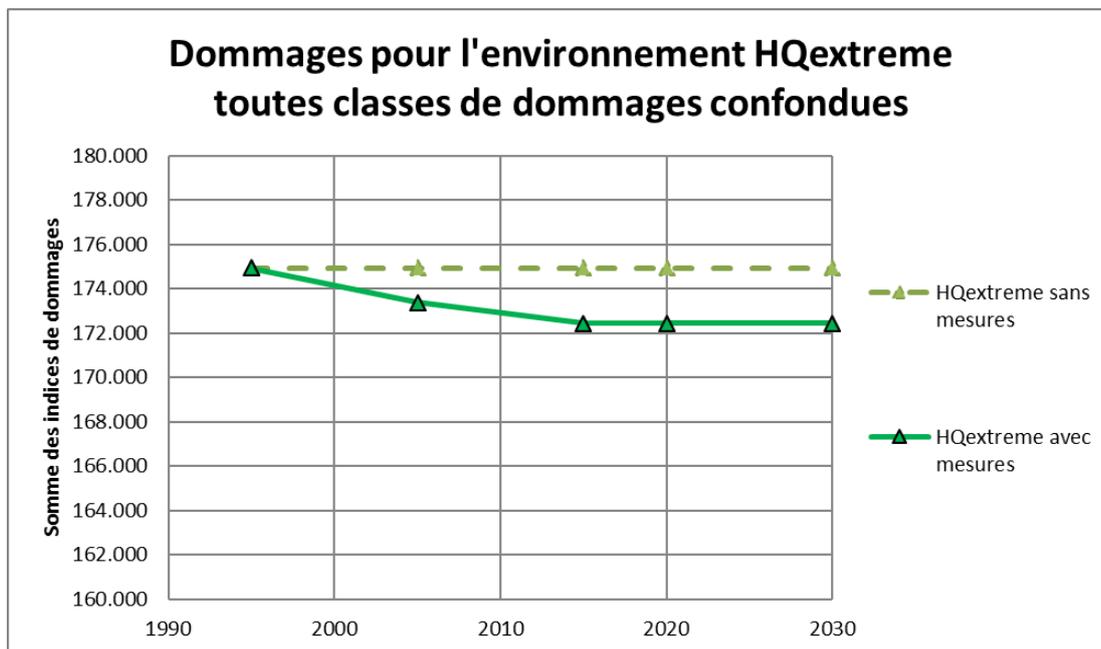


Figure 12 : évolution des dommages potentiels pour l'environnement (somme des indices de dommages)

Sur toute la période considérée (1995-2030), le risque d'inondation évolue globalement, la réduction la plus nette obtenue au travers des probabilités modifiées étant cependant constatée entre 2015 et 2020/2030. Le risque est le plus élevé dans le scénario HQhigh (cf. figure 13 et tableau 3). Comme pour tous les enjeux, la modification du risque pour l'enjeu 'environnement' est fortement déterminée par la modification de la probabilité d'inondation, notamment à partir de 2020 en aval d'Iffezheim.

Tableau 3 : évolution du risque

	Modification relative du risque depuis 1995 (%)				Modification relative du risque depuis 2015 (%)	
	1995-2005	1995-2015	1995-2020	1995-2030	2015-2020	2015-2030
HQhigh	< -5	< -5	-45	-45	-45	-45
HQ med	-5	-10	-70	-75	-70	-75
HQ ext	-5	-10	-65	-70	-60	-70

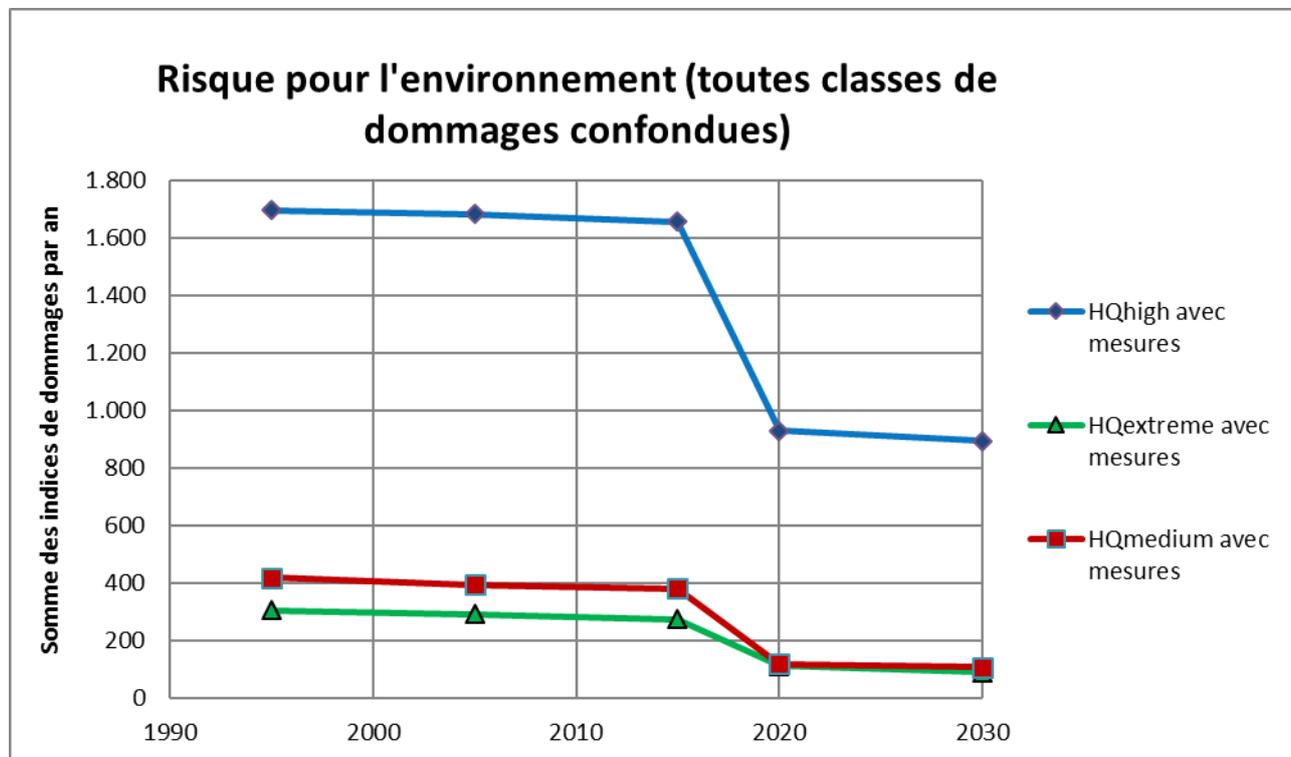


Figure 13 : évolution du risque compte tenu de toutes les mesures (somme des indices de dommages par an toutes classes de dommages confondus) (axe des ordonnées)

2.4 Patrimoine culturel

Pour les biens culturels, les calculs montrent que la somme des indices de dommages¹⁴ (avec prise en compte des mesures¹⁵) laisse apparaître une baisse sur la période 1995 à 2005 et une (très) légère baisse des dommages sur la période 2005 à 2030. Les dommages les plus importants sont constatés ici en situation de crue extrême (cf. figure 14).

Sous l'effet des mesures mises en œuvre, le risque diminue nettement au fil du temps dans tous les scénarios, c'est-à-dire de plus de 50 % d'ici 2030 (les dommages étant les plus élevés dans le scénario HQhigh) (cf. figure 15 et tableau 4).

Le nombre ou la superficie (*non représentée*) des enjeux concernés augmente quand baisse la probabilité d'inondation (c'est-à-dire quand on tend vers des crues de plus grande amplitude), ce qui signifie, comme pour les autres enjeux, que la modification du risque est fortement déterminée par la modification des probabilités d'inondation (notamment à partir de l'horizon 2020) en aval d'Iffezheim.

¹⁴ Somme des indices de dommages = somme des dommages culturels toutes classes de dommages confondus

¹⁵ NB : le calcul des dommages culturels potentiels sans mesures est identique pour les cinq horizons, les données d'entrée étant les mêmes.

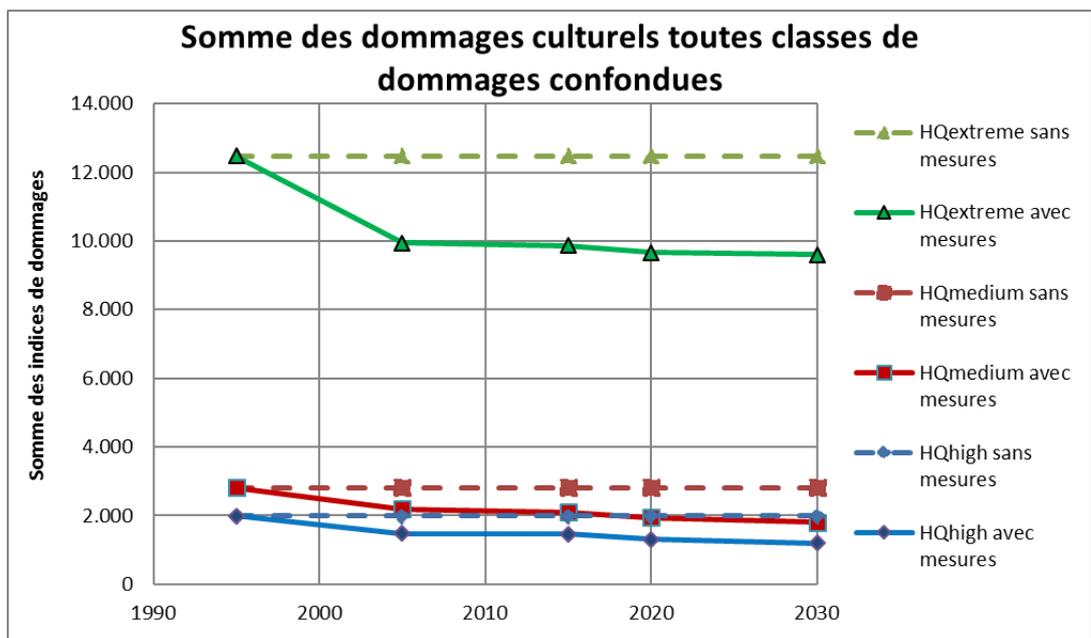


Figure 14 : évolution des dommages culturels potentiels (somme des indices de dommages) (axe des ordonnées)

Tableau 4 : évolution du risque

	Modification relative du risque depuis 1995 (%)				Modification relative du risque depuis 2015 (%)	
	1995-2005	1995-2015	1995-2020	1995-2030	2015-2020	2015-2030
HQhigh	-15	-15	-50	-60	-40	-50
HQmed	-15	-20	-65	-70	-55	-65
HQext	-10	-15	-55	-65	-50	-55

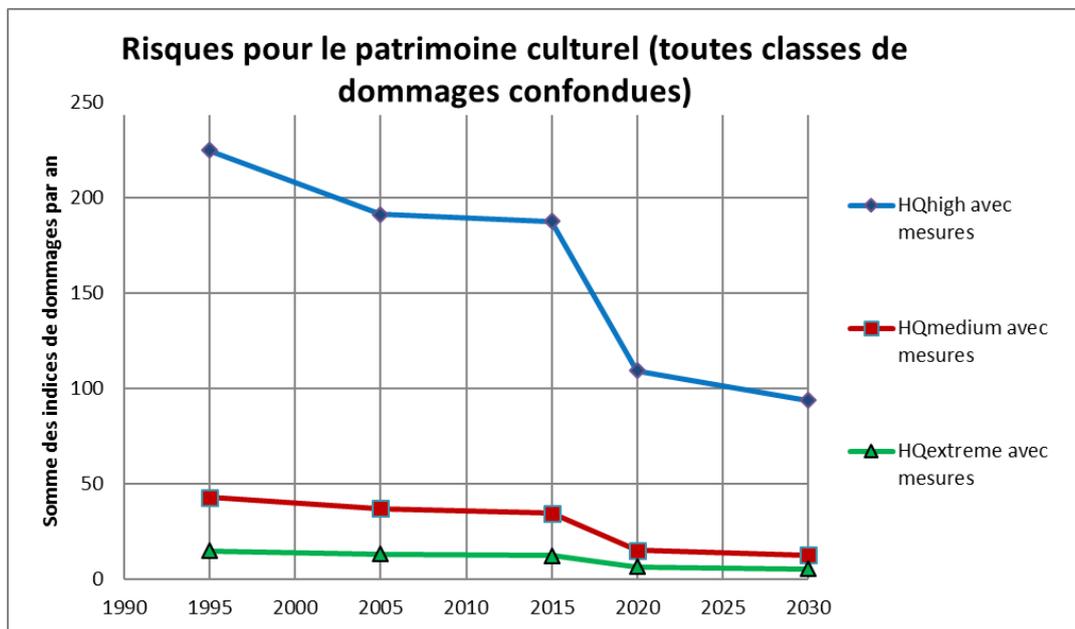


Figure 15 : évolution du risque compte tenu de toutes les mesures (somme des indices moyens de dommages par an toutes classes de dommages confondus)

2.5 Activité économique

Les résultats obtenus pour l'enjeu 'activité économique' (*économie*) montrent que les dommages les plus élevés sont constatés pour des inondations de faible probabilité, c'est-à-dire des crues extrêmes, bien que les dommages potentiels augmentent régulièrement avec le temps (1995-2015, 1995-2020/2030 ou 2015-2020/2030) en raison de la croissance économique (cf. figure 16).

Quand on observe le risque, on constate cependant que la crue HQhigh représente le risque le plus élevé. Le risque baisse sur toute la période (1995-2030) pour les 3 scénarios de crue (cf. figure 17 et tableau 5). A l'instar des informations de hauteur d'eau et d'étendue de l'inondation tirées des cartes nationales des zones inondables 2015 (voir explications correspondantes au chap. 15), on précisera ici - pour la caractérisation de l'occupation des sols - que les calculs de dommages ont été réalisés pour tous les horizons uniquement sur la base du jeu de données le plus récent et le plus fiable disponible (CLC2006).

Pour cette raison, il n'a pas été tenu compte dans l'évolution temporelle des dommages, et par conséquent du risque, des aspects mentionnés plus haut (évolution des niveaux d'eau, étendue des inondations et évolution de l'occupation des sols au fil du temps).

Pour l'**activité économique**, les résultats (tableau 5) montrent **que l'atteinte de l'objectif du PAI visant à réduire le risque d'inondation de 10 % d'ici 2005 a pu être démontrée au travers des calculs. Cette remarque est également valable pour l'objectif PAI d'une réduction de 25 % d'ici 2020 par rapport à 1995.**

Ces enseignements confirment les études antérieures de la CIPR sur l'état 2005 dans le cadre de la mise en œuvre du PAI (rapport n° 157). Ils s'expliquent par la mise en œuvre progressive de diverses mesures et à leur effet de réduction des risques¹⁶. Les nombreuses mesures de rétention ainsi que les mesures du programme néerlandais « Espace pour le fleuve » contribuent sensiblement à réduire le risque d'inondation sur le cours principal du Rhin (par réduction des niveaux d'eau et par modification de la probabilité d'inondation en résultant), tout particulièrement celles qui doivent être réalisées en aval d'Iffezheim d'ici 2020 et d'ici 2030. Parallèlement à ces mesures abaissant le niveau d'eau, une série d'autres mesures diverses ont pour effet d'atténuer depuis 1995 sur l'axe temps l'augmentation des dommages dans les zones inondables. Il s'agit de mesures relevant de la prévention et de la préparation, de la prévision et de l'avertissement précoce des crues, ainsi que de la (préparation de la) gestion de crise (voir illustration 16).

¹⁶ La réduction des dommages est cependant plus prononcée pour les crues HQhigh et HQmedium (légère augmentation des dommages sur l'axe temps) que pour HQextreme (plus forte augmentation des dommages sur l'axe temps).

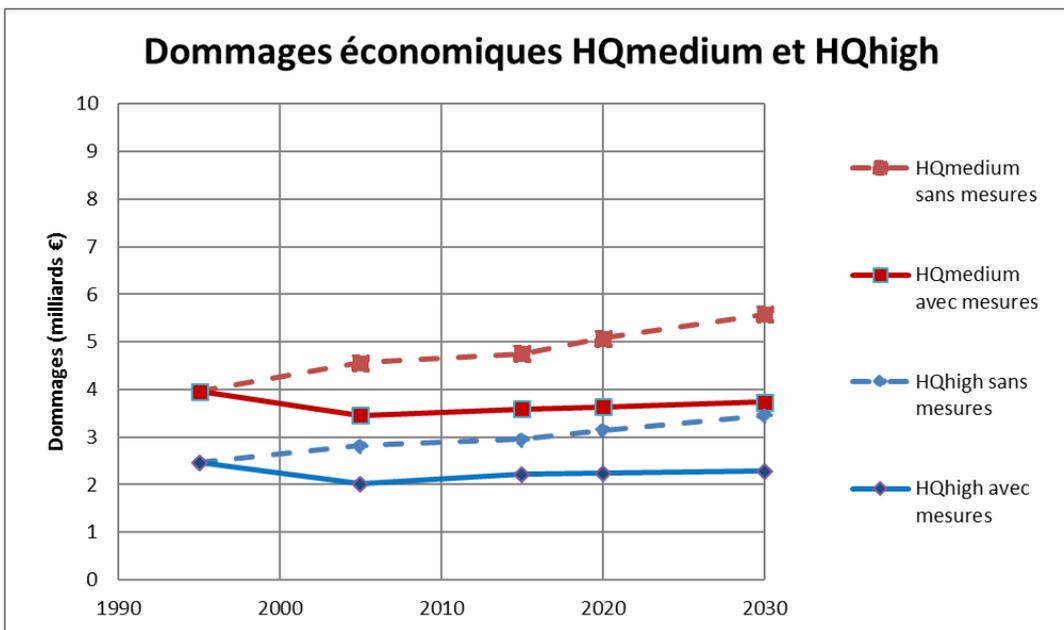
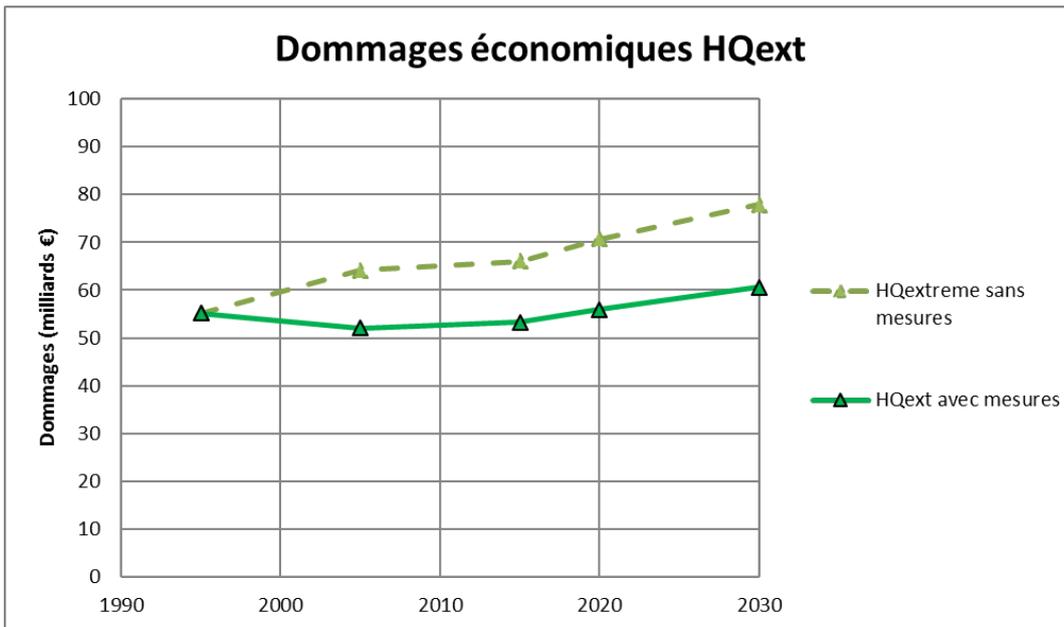


Figure 16 : ordre de grandeur de l'évolution des dommages (milliards d'euros)

Tableau 5 : évolution du risque

	Modification relative du risque depuis 1995 (%)				Modification relative du risque depuis 2015 (%)	
	1995-2005	1995-2015	1995-2020	1995-2030	2015-2020	2015-2030
HQhigh	-15	-10	-30	-30	-20	-20
HQ med	-15	-15	-50	-55	-40	-45
HQext	-10	-10	-45	-50	-40	-45
Intégral	-10	-10	-45	-45	-35	-40

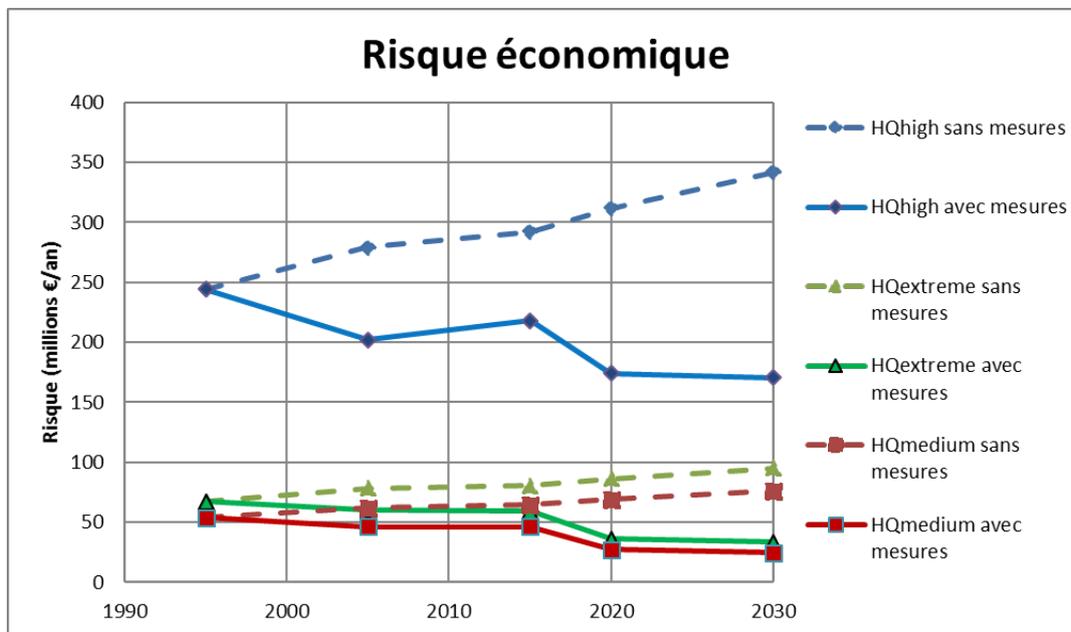


Figure 17 : évolution du risque (millions d'euros/an)

3. Evaluation des indicateurs et de la méthode

3.1 Indicateurs

Pour calculer l'effet des mesures, des indicateurs ont été définis. On a fait appel ici aux catégories de mesures de la DI. Il a été fixé pour chaque catégorie de mesures un indicateur considéré représentatif d'un groupe donné de mesures. A partir d'informations bibliographiques et en partie aussi de jugements d'experts, la réduction maximale des dommages a été estimée et définie pour chacun des indicateurs.

Le degré de réalisation, c'est-à-dire le choix et le nombre de mesures déjà mises en œuvre/réalisées ou qui le seront à l'avenir, a été introduit dans les calculs. Les données/informations sur les mesures réalisées ou planifiées ont été communiquées par les Etats riverains du Rhin.

Les calculs sur l'évolution du risque pour les quatre enjeux apportent des enseignements sur l'effet de la somme des mesures. Il a été réalisé en plus de ces calculs une analyse dite de sensibilité (voir détails et synthèse dans le rapport technique ..., figure 18), à l'aide de laquelle ont pu être estimés les effets de différentes mesures hypothétiques sur l'évolution/la réduction des dommages et risques économiques.

L'analyse de sensibilité s'est référée aux volets de mesures de 'prévention' et de 'préparation', qui ont un effet sur les dommages. Les mesures dans le volet 'protection' ont un effet important direct sur la réduction des risques, comme il a déjà été montré dans les chapitres 1.1 et 1.6.

Exemple de lecture de la figure 18 : la modification relative du risque obtenue pour la mesure 'prévision des crues' par rapport à la variante « Etat 2005 sans mesures » est d'env. 15 % (colonne bleue) dans le scénario HQmedium). Ceci revient à dire que la mesure de 'prévision des crues' permet de réduire le risque de 15% dans un scénario HQmedium.

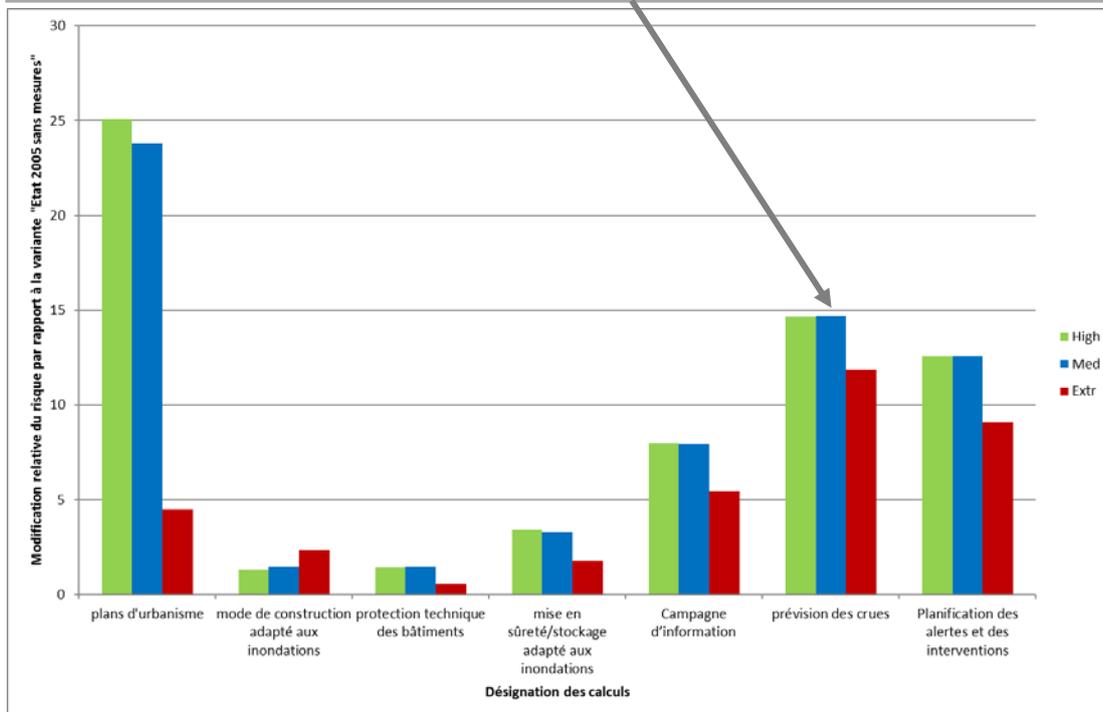


Figure 18 : modification du risque avec indicateurs individuels par rapport à la variante sans mesures (résultats de l'analyse de sensibilité sur l'effet des mesures)

Les principaux enseignements tirés sur les **mesures** appliquées dans cette analyse sont les suivants :

- La plupart des mesures planifiées pour les scénarios de crue de fréquence élevée ou moyenne (HQhigh et HQmedium) dans les volets 'préparation' et 'prévention' ont un effet plus important dans ces scénarios de crue que dans le scénario de crue extrême (HQextreme).
- Au niveau du bassin du Rhin, les mesures de 'prévention en matière de construction' ont l'effet le plus faible. Dans les unités/bassins de moindre taille, les mesures de 'prévention en matière de construction' peuvent cependant contribuer sensiblement à réduire le risque.
- Les mesures de type 'campagnes d'information', 'prévisions des crues' et 'plans d'alerte et d'intervention' contribuent à améliorer sensiblement la situation dans le bassin du Rhin.
- L'effet de loin le plus important pour l'activité économique en cas de crue HQhigh et HQmedium est celui obtenu au travers de la mesure 'plans d'urbanisme' qui réglemente la construction dans les zones inondables ou fixe des dispositions de préservation de surfaces.
- Bien qu'elles ne figurent pas directement dans l'analyse de sensibilité, les mesures du volet 'protection' contribuent sensiblement à atténuer le risque.

On a **évalué les indicateurs** (voir annexe) en se fondant sur les résultats d'analyses théoriques et réelles ainsi que sur les efforts à déployer pour obtenir les données requises et

les traiter. Il ressort de cette évaluation, eu égard aux tâches que la CIPR doit exécuter pour vérifier le degré de mise en œuvre du PGRI à l'échelle du DHI Rhin à l'aide des calculs de l'évolution du risque, que les indicateurs suivants sont les plus pertinents :

- préservation des zones inondables et fixation de règles d'urbanisme (*indicateurs : modification des données relatives à l'occupation des sols et règles et plans d'urbanisme*)
- mise en œuvre de mesures d'abaissement des niveaux d'eau (*indicateur : modification de la probabilité d'inondation*)
- protection contre les inondations (*indicateur : mention d'une probabilité/d'un niveau de protection et d'une évolution/modification dans le temps*)
- sensibilisation de la population, entre autres par mise à disposition de cartes des zones inondables et de cartes des risques d'inondation (*indicateur : fréquence (de remise à jour) des campagnes d'information*)
- Amélioration du système de prévision et d'annonce des crues (*indicateur : amélioration des prévisions des crues*)
- gestion de crise (*indicateurs : présence et fréquence de remise à jour des plans d'alerte et d'intervention ; nombre de systèmes d'avertissement, indication d'un taux minimal et maximal de mise en sûreté des personnes touchées dans une zone donnée*)

Ceci signifie pour les indicateurs susmentionnés (et les mesures correspondantes) que l'on dispose ou pense disposer à l'avenir de suffisamment de données pour pouvoir identifier leur efficacité. A l'aide de ces indicateurs, il est possible d'évaluer l'efficacité des mesures au niveau du district hydrographique du Rhin.

Par ailleurs, les mesures de type 'construction adaptée au risque d'inondation', 'protection technique des bâtiments' et 'stockage adapté au risque d'inondation' peuvent certes avoir un effet local ou régional significatif de réduction des risques et/ou des dommages. Cependant, les indicateurs appliqués à ces mesures sont peu appropriés au niveau du cours principal du Rhin car des efforts très importants sont à investir pour obtenir les données requises. De plus, on a constaté que les informations correspondant à ces mesures n'étaient pas toujours disponibles.

3.2 Précisions supplémentaires sur la méthode

On rappellera à propos de l'utilisation de la méthode et des indicateurs les hypothèses et restrictions importantes suivantes :

Base de données commune et examen à échelle grossière

- En raison de la méthode spécifique et des bases de données mises en commun à échelle grossière pour le bassin du Rhin, les résultats calculés dans la présente étude peuvent s'écarter nettement des résultats nationaux de calculs fondés sur des bases de données plus précises. On prendra pour exemple les données CLC utilisées par la CIPR qui constituent une base de données commune pour le bassin du Rhin dans son ensemble. On relève des différences en valeurs absolues mais celles-ci sont relativement peu importantes pour l'évaluation.
- Plusieurs raisons expliquent pourquoi les chiffres absolus obtenus par calcul sont à considérer avec précaution et ne sont certainement pas appropriés pour s'intégrer dans une analyse coûts-bénéfice.
 - Les mêmes cartes des zones inondables ont été utilisées dans les calculs pour tous les horizons. Ceci signifie qu'il n'est pas reproduit la réduction réelle des surfaces

inondables consécutive à la prise de mesures d'abaissement du niveau d'eau, ce qui peut fausser le recensement des dommages.

- o Les mesures n'ont pas toutes été introduites dans les calculs de manière détaillée. C'est le cas par ex. pour les mesures de protection telles que les restaurations de digues. Il peut en résulter une sous-estimation de la réduction du risque.
- L'indicateur « préservation de zones inondables et occupation des sols adaptée », c'est-à-dire le **développement surfacique des occupations du sol** sur la période 1990-2006 n'est pas pris en compte dans les calculs (cette remarque vaut en particulier pour l'économie). La raison en est que seul le jeu de données CLC2006 a pu être appliqué dans les calculs pour toutes les activités économiques, les jeux antérieurs CLC1990 et CLC2000 accusant trop de faiblesses. On ne pourra obtenir de meilleurs résultats à l'avenir que si l'on intègre dans les futurs calculs des données d'occupation des sols plus précises et de meilleure qualité.

Exploitation de connaissances d'experts

- Les informations sur les effets des mesures de 'préparation' et de 'prévention' intégrées dans les calculs mériteraient d'être mieux étayées par des connaissances scientifiques, ce qu'il n'a pas été possible de faire dans le cadre de la présente étude. La CIPR s'est donc appuyée sur les sources de données disponibles pour en tirer les informations requises sur les mesures, leurs effets et leur degré de réalisation, de même que sur des expertises. Les estimations et les hypothèses concernant les mesures devraient être remplacées à l'avenir par de meilleures connaissances et des jeux de données plus détaillés.
- Pour des indicateurs identiques, les données et « interprétations » peuvent parfois être différentes/hétérogènes.

Disponibilité et collecte des données

- Les Etats n'ont pas été en mesure de recenser les données requises pour certains indicateurs. C'est notamment le cas pour les indicateurs 'construction adaptée au risque d'inondation', 'protection technique des bâtiments' et 'stockage adapté au risque d'inondation' qui exigent d'être étayés par de nombreuses informations détaillées.

Annexe 1 - Evaluation des mesures et des indicateurs : Effet, moyens à investir et qualification pour le bassin du Rhin

Type de mesure selon la DI	Indicateur	Effet sur : Dommages potentiels Risque Enjeux considérés/touchés Santé humaine Environnement Patrimoine culturel Activité économique	Ordre de grandeur de l'effet sur le risque <i>(sur la base de l'analyse de sensibilité et des résultats des calculs)</i> élevé faible à moyen	Efforts/moyens à investir dans la collecte et la préparation/le traitement des données Faibles (disponibilité élevée) moyens (disponibilité moyenne) élevés (faible disponibilité) :	Indicateur approprié pour une analyse au niveau du bassin du Rhin approprié non approprié
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		Environnement			
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	Fréquence (de remise à jour) des campagnes d'information	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			