



# **Estimation de la modification de probabilité due aux mesures de réduction des crues le long du Rhin**

**Version de juillet 2015**

Internationale  
Kommission zum  
Schutz des Rheins

Commission  
Internationale  
pour la Protection  
du Rhin

Internationale  
Commissie ter  
Bescherming  
van de Rijn

*Rapport n° 229*



Membres du groupe d'experts HVAL de la CIPR ayant collaboré à la rédaction du rapport

G. Brahmer	Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Allemagne
M. Brinkmann	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nord rhein-Westfalen, Allemagne
N. Busch	Bundesanstalt für Gewässerkunde, Allemagne
R. Creusot	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement d'Alsace, France
R. Diezig	Office fédéral de l'Environnement, Suisse
R. Friese (président)	Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden- Württemberg, Allemagne
M. Hammer	Bundesanstalt für Gewässerkunde, Allemagne
R. Lammersen	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, Pays-Bas
B. Mehlig	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nord rhein-Westfalen, Allemagne
B. Plonka	Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz, Allemagne
A. Schmid-Breton	Secrétariat de la CIPR
A. Schulte-Wülwer-Leidig	Secrétariat de la CIPR
R. Vogt	Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AöR, Hochwassernotgemein- schaft Rhein, Allemagne
J-P. Wagner	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement d'Alsace, France
M. Willkomm	Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AöR Hochwassernotgemeinschaft Rhein, Allemagne

**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 978-3-941994-93-5  
© IKS-R-CIPR-ICBR 2015

## Sommaire

<b>Sommaire .....</b>	<b>2</b>
<b>Registre des annexes.....</b>	<b>3</b>
<b>1. Synthèse.....</b>	<b>4</b>
<b>2. Approche générale .....</b>	<b>8</b>
<b>3. Données de base et méthode appliquée .....</b>	<b>10</b>
<b>3.1. Données de base .....</b>	<b>10</b>
<b>3.2 Traitement des valeurs des statistiques officielles sur les crues .....</b>	<b>12</b>
<b>3.3 Détermination de la récurrence pour les débits de pointe calculés.....</b>	<b>12</b>
<b>3.4 Mise au point de graphiques d'évaluation (par échelle) pour l'estimation des récurrences théoriques rapportées au collectif de crues HVAL .....</b>	<b>13</b>
<b>3.5 Evaluation rapportée aux échelles des graphiques d'évaluation.....</b>	<b>14</b>
<b>3.6 Détermination de la (modification de la) capacité d'écoulement dans les tronçons du Rhin au nord du débouché de la Sieg .....</b>	<b>16</b>
<b>3.7. Evaluation rapportée aux tronçons des graphiques d'évaluation pour estimer les récurrences théoriques rapportées au collectif de crues constitué par le GE HVAL.....</b>	<b>20</b>
<b>4. Résultats .....</b>	<b>21</b>
<b>4.1 Remarques préliminaires sur l'interprétation des résultats .....</b>	<b>21</b>
<b>4.2 Synthèse des résultats.....</b>	<b>22</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>26</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>28</b>

## Registre des annexes

Annexe 1 : lignes de tendance « statistiques officielles » pour les échelles de référence	
Annexe 1a : ligne de tendance pour l'échelle de Maxau (base : statistiques officielles) ...	28
Annexe 1b : ligne de tendance pour l'échelle de Worms (base : statistiques officielles) ..	28
Annexe 1c : ligne de tendance pour l'échelle de Mayence (base : statistiques officielles)....	29
Annexe 1d : ligne de tendance pour l'échelle de Kaub (base : statistiques officielles) .....	29
Annexe 1e : ligne de tendance pour l'échelle d'Andernach (base : statistiques officielles)	30
Annexe 1f : ligne de tendance pour l'échelle de Cologne (base : statistiques officielles) ....	30
Annexe 1g : ligne de tendance pour l'échelle de Lobith (base : statistiques officielles)....	31
Annexe 2 : graphiques d'évaluation (rapportés aux échelles et aux tronçons). Estimation des récurrences théoriques rapportées au collectif de crues constitué par le GE HVAL	
Annexe 2a : graphique d'évaluation, échelle de Maxau .....	32
Annexe 2b : graphique d'évaluation, échelle de Worms .....	32
Annexe 2c : graphique d'évaluation, échelle de Mayence .....	33
Annexe 2d : graphique d'évaluation, échelle de Kaub .....	33
Annexe 2e : graphique d'évaluation, échelle d'Andernach.....	34
Annexe 2f : graphique d'évaluation, échelle de Cologne .....	34
Annexe 2g : graphique d'évaluation, échelle de Lobith.....	35
Annexe 3: rendu des marges d'incertitude à l'exemple de l'échelle de Worms, état 2010	36
Annexe 4 : mesures de rétention des crues sur le cours principal du Rhin .....	37
Annexe 5 : vue générale des mesures de rétention entre Bâle et Lobith et des mesures de réduction des niveaux d'eau dans le delta du Rhin à partir de Lobith	
Annexe 5a : mesures de rétention entre Bâle et Lobith avec indication des volumes correspondants (en millions de m <sup>3</sup> ) .....	38
Annexe 5b : mesures de réduction des niveaux d'eau dans le delta du Rhin à partir de Lobith avec effet minimal d'abaissement du niveau d'eau attendu (en m)	39
Annexe 6 : description de l'outil HIRI permettant d'identifier l'impact des mesures sur la réduction du risque d'inondation (poster en anglais) .....	40

## 1. Synthèse

Les ministres compétents ont adopté le « Plan d'Action contre les inondations » (PAI) pour le Rhin en 12<sup>ème</sup> Conférence ministérielle sur le Rhin du 22 janvier 1998. Le Plan d'action définit les objectifs opérationnels suivants :

- Réduire les risques de dommage
- Réduire les niveaux de crue
- Renforcer la prise de conscience face aux risques d'inondation
- Améliorer le système d'annonce de crue

Dans le PAI, l'objectif opérationnel « Réduire les niveaux de crue au travers de mesures sur le Rhin » est défini comme une « réduction des niveaux de crue extrêmes jusqu'à 60<sup>1</sup> cm d'ici 2020 en aval du tronçon régulé. » L'année prise comme référence est 1995.

Dans le cadre de l'évaluation 2010, le groupe d'experts 'Validation' de la CIPR (HVAL) a analysé l'efficacité des mesures de rétention sur le Rhin du Plan d'Action contre les Inondations pour les états d'aménagement 1977<sup>2</sup>, 1995, 2005, 2010, 2020 et « 2020plus »<sup>3</sup> (voir liste et carte des mesures mises en œuvre dans d'autres états d'aménagement et les annexes 4 et 5). Les résultats sont consignés dans son rapport final (CIPR, 2012a) (voir lien ci-contre : [http://www.iksr.org/uploads/media/199\\_f.pdf](http://www.iksr.org/uploads/media/199_f.pdf)).

La tâche du groupe d'experts HIRI (risques d'inondation) de la CIPR est d'évaluer dans le cadre du PAI comment les risques de dommages ont évolué sur le linéaire du Rhin depuis 1995 (objectif opérationnel « Réduire les risques de dommage ») et d'analyser dans le cadre de la directive communautaire sur la gestion des risques d'inondation (DI) l'impact des mesures sur le risque d'inondation. Ces calculs se basent sur les cartes nationales des zones inondables (et des risques d'inondation) pour les 3 scénarios d'inondation de la DI auxquels on applique une modification de la probabilité d'inondation entraînée par la réalisation des mesures du PAI de réduction des niveaux de crue.

C'est pourquoi il a été décidé dans l'approche d'identification du groupe d'experts HVAL établie en avril 2009 d'analyser également la modification de la probabilité d'inondation imputable aux mesures du PAI et de mettre les résultats à la disposition du GE HIRI. Les figures ci-dessous et le tableau 1 présentent les résultats obtenus pour les états d'aménagement analysés au niveau des différentes échelles et/ou tronçons du Rhin.

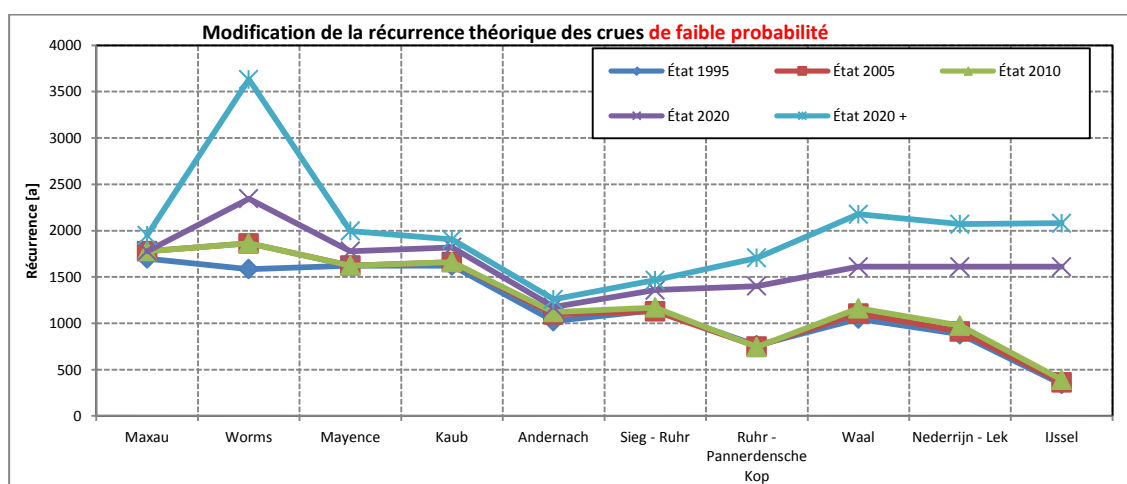
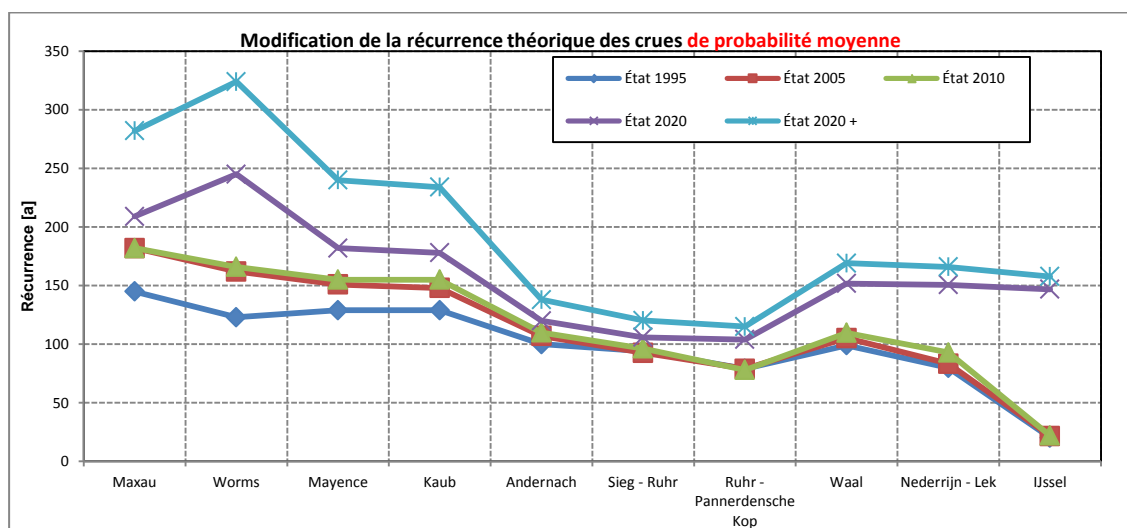
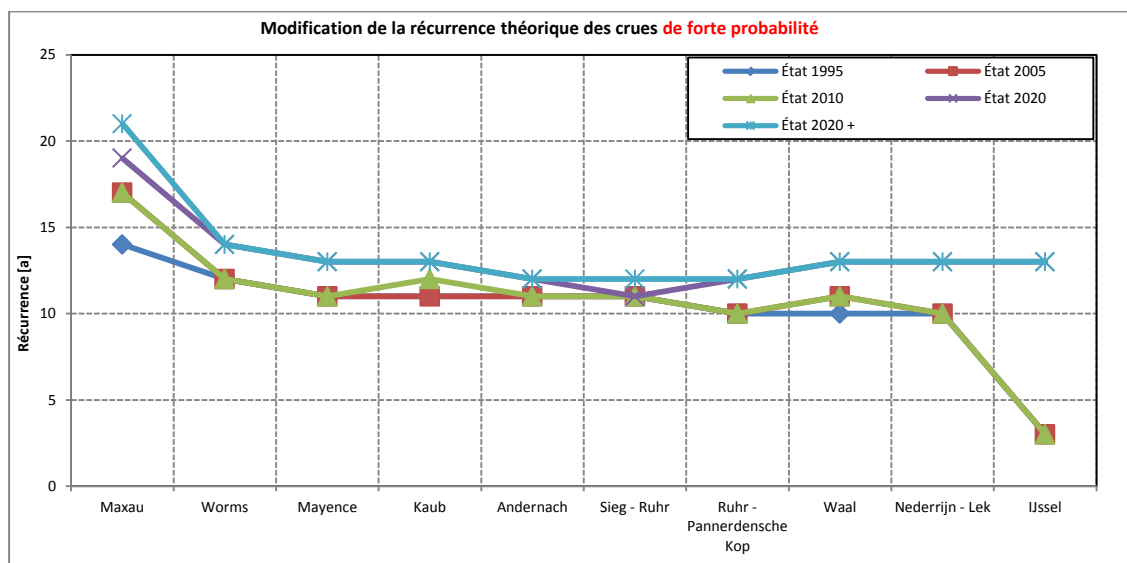
Le tableau 1 ci-dessous présente les résultats obtenus pour les états d'aménagement analysés au niveau des différentes échelles et/ou tronçons du Rhin.

---

<sup>1</sup> Réduire les niveaux de crue - Réduire les niveaux de crue extrêmes jusqu'à 70 cm d'ici 2020 en aval du tronçon régulé (60 cm par la rétention d'eau sur le Rhin et environ 10 cm par la rétention d'eau dans le bassin du Rhin)

<sup>2</sup> En règle générale, les indications sur les probabilités de crue sont rapportées à l'état d'aménagement 1977 (= fin de la régulation du Rhin supérieur).

<sup>3</sup> Mesures du PAI mais qui seront réalisées après 2020.



Il ressort des graphiques que les récurrences déterminées et leurs modifications reflètent le volume de rétention croissant rendu disponible par les mesures réalisées en fonction de l'état d'aménagement. Quelques exemples à titre d'explication :

- Echelle de Worms : le volume de rétention augmente sensiblement dans la zone située juste en aval de l'échelle de Worms pour les états 2020 et notamment 2020plus (le volume double pratiquement entre les états 2020 et 2020plus). Il en découle pour ces états d'aménagement des modifications très importantes des récurrences théoriques (obtenues pour les débits d'occurrence moyenne ou faible).
- Echelle d'Andernach : la modification de la récurrence théorique due à l'impact des mesures de rétention s'amenuise nettement avec l'apport du flux de la Moselle. Seules les crues déjà prononcées sur le Rhin supérieur peuvent être atténuées efficacement à l'échelle d'Andernach par les mesures de rétention prises sur le Rhin supérieur. Plus la contribution de la Moselle à la formation de la crue est importante à hauteur de l'échelle d'Andernach, plus est faible l'impact des mesures de rétention du Rhin supérieur sur cette crue.
- en aval du débouché de la Sieg : on relève ici les modifications les plus importantes entre les états 2010 et 2020 ainsi qu'entre les états 2020 et 2020plus, et ceci pour toutes les catégories de crues (probabilité élevée, moyenne et faible). La raison en est principalement la finalisation des mesures d'élargissement du profil d'écoulement jusqu'en 2020. Surtout dans le cas des crues de moyenne et de faible probabilité, l'augmentation des récurrences est probablement due principalement aux mesures de rétention prévues sur le Rhin supérieur et le Rhin inférieur après 2020.
- Bras néerlandais du Rhin : les récurrences théoriques déterminées font ressortir la grande différence de caractère des trois bras du Rhin. Cette différence se traduit d'une part par la capacité hydraulique (le Waal transportant env. les 2/3 du débit entrant à Lobith, alors que le Nederrijn/Lek n'en reçoit que 2/9<sup>ème</sup> et l'IJssel 1/9<sup>ème</sup>), d'autre part par le degré d'efficacité des mesures selon leur type (par ex. abaissement d'épis à grande échelle dans le Waal et cuvettes d'inondation/reculs de digues le long de l'IJssel).

Le tableau 1 à la page suivante présente tous les résultats sous forme de tableau.

Tronçon	Probabilités	Débits [m <sup>3</sup> /s]	Récurrences théoriques [a] rapportées à la méthode appliquée avec le collectif de crues analysé par le GE HVAL				
			pour les états d'aménagement				
			1995	2005	2010	2020	2020plus
<b>Evaluation rapportée aux échelles</b>							
<b>Echelle de Maxau (Rhin supérieur/Iffezheim – débouché du Neckar)</b>							
Récurrences de crue rapportées au collectif de crues constitué par le GE HVAL	forte probabilité	4 100 m <sup>3</sup> /s	14 a	17 a	17 a	19 a	21 a
	probabilité moyenne	5 000 m <sup>3</sup> /s	145 a	182 a	182 a	209 a	282 a
	faible probabilité	6 500 m <sup>3</sup> /s	1698 a	1778 a	1778 a	1778 a	1950 a
<b>Echelle de Worms (Rhin supérieur/débouché du Neckar – débouché du Main)</b>							
Récurrences de crue rapportées au collectif de crues constitué par le GE HVAL	forte probabilité	4 750 m <sup>3</sup> /s	12 a	12 a	12 a	14 a	14 a
	probabilité moyenne	6 000 m <sup>3</sup> /s	123 a	162 a	166 a	245 a	324 a
	faible probabilité	7 600 m <sup>3</sup> /s	1585 a	1862 a	1862 a	2344 a	3631 a
<b>Echelle de Mayence (Rhin supérieur/débouché du Main – débouché de la Nahe)</b>							
Récurrences de crue rapportées au collectif de crues constitué par le GE HVAL	forte probabilité	5 700 m <sup>3</sup> /s	11 a	11 a	11 a	13 a	13 a
	probabilité moyenne	7 900 m <sup>3</sup> /s	129 a	151 a	155 a	182 a	240 a
	faible probabilité	10 300 m <sup>3</sup> /s	1622 a	1622 a	1622 a	1778 a	1995 a
<b>Échelle de Kaub (Rhin moyen/débouché de la Nahe-débouché de la Moselle)</b>							
Récurrences de crue rapportées au collectif de crues constitué par le GE HVAL	forte probabilité	5 800 m <sup>3</sup> /s	11 a	11 a	12 a	13 a	13 a
	probabilité moyenne	8 000 m <sup>3</sup> /s	129 a	148 a	155 a	178 a	234 a
	faible probabilité	400 m <sup>3</sup> /s	1622 a	1660 a	1660 a	1820 a	1905 a
<b>Echelle d'Andernach (Rhin moyen/débouché de la Moselle-débouché de la Sieg)</b>							
Récurrences de crue rapportées au collectif de crues constitué par le GE HVAL	forte probabilité	8 810 m <sup>3</sup> /s	11 a	11 a	11 a	12 a	12 a
	probabilité moyenne	11 850 m <sup>3</sup> /s	100 a	107 a	110 a	120 a	138 a
	faible probabilité	15 250 m <sup>3</sup> /s	1023 a	1096 a	1122 a	1175 a	1259 a
<b>Evaluation rapportée aux tronçons</b>							
<b>Débouché de la Sieg – débouché de la Ruhr</b>							
Récurrences de crue rapportées au collectif de crues constitué par le GE HVAL	forte probabilité	8 900 m <sup>3</sup> /s	11 a	11 a	11 a	11 a	12 a
	probabilité moyenne	11 700 m <sup>3</sup> /s	94 a	93 a	96 a	106 a	120 a
	faible probabilité	15 300 m <sup>3</sup> /s	1140 a	1130 a	1170 a	1358 a	1466 a
<b>Débouché de la Ruhr – Pannerdensche Kop</b>							
Récurrences de crue rapportées au collectif de crues constitué par le GE HVAL	forte probabilité	9 380 m <sup>3</sup> /s	10 a	10 a	10 a	12 a	12 a
	probabilité moyenne	12 200 m <sup>3</sup> /s	79 a	79 a	78 a	104 a	115 a
	faible probabilité	15 800 m <sup>3</sup> /s	763 a	751 a	743 a	1402 a	1706 a
<b>Waal (jusqu'au PK 938) *</b>							
Récurrences de crue rapportées au collectif de crues constitué par le GE HVAL	forte probabilité	9 500 m <sup>3</sup> /s	10 a	11 a	11 a	13 a	13 a
	probabilité moyenne	12 700 m <sup>3</sup> /s	99 a	105 a	110 a	152 a	169 a
	faible probabilité	16 000 m <sup>3</sup> /s	1050 a	1107 a	1161 a	1611 a	2178 a
<b>Nederrijn-Lek*</b>							
Récurrences de crue rapportées au collectif de crues constitué par le GE HVAL	forte probabilité	9 500 m <sup>3</sup> /s	10 a	10 a	10 a	13 a	13 a
	probabilité moyenne	12 700 m <sup>3</sup> /s	80 a	83 a	93 a	151 a	166 a
	faible probabilité	16 000 m <sup>3</sup> /s	881 a	912 a	975 a	1611 a	2070 a
<b>IJssel*</b>							
Récurrences de crue rapportées au collectif de crues constitué par le GE HVAL	forte probabilité	9 500 m <sup>3</sup> /s	3 a	3 a	3 a	13 a	13 a
	probabilité moyenne	12 700 m <sup>3</sup> /s	20 a	22 a	22 a	147 a	158 a
	faible probabilité	16 000 m <sup>3</sup> /s	344 a	364 a	392 a	1611 a	2080 a

\*Indications de débit pour l'échelle de Lobith

Tab. 1 : vue synoptique des récurrences théoriques rapportées à la méthode appliquée avec le collectif de crues analysé par le GE HVAL (pour les analyses du GE HIRI)



## 2. Approche générale

De nombreuses mesures de mitigation des inondations ont été réalisées le long du Rhin au cours des dernières années ou sont actuellement planifiées (voir annexe 4 et 5). On peut fondamentalement distinguer deux types de mesures. On trouve d'une part des mesures de rétention des eaux (par ex. dans des polders de rétention ou à l'aide de barrages) permettant d'écrêter une onde de crue. Il existe d'autre part des mesures d'élargissement de la section transversale d'écoulement (par ex. au travers de reculs de digues, de rivières de dérivation, de chenaux annexes) dont l'effet consiste à abaisser le niveau d'eau de la pointe de crue sans réduction du débit de pointe. Les mesures portant sur le Rhin supérieur sont principalement des mesures de rétention permettant de réduire le débit. En revanche, on opte fréquemment sur le Rhin inférieur et aux Pays-Bas pour des mesures ayant pour effet d'abaisser le niveau d'eau par élargissement du profil d'écoulement.

Pour cette raison, il a été décidé de subdiviser l'analyse en deux volets (voir figure 1). On a ainsi procédé dans un premier temps à une estimation de la modification de la probabilité des débits (cette approche est appelée ci-après « **évaluation rapportée aux échelles** »). Ce type d'analyse tient compte des impacts des mesures ayant pour effet de réduire le débit (par ex. les polders de rétention) sur les actuelles valeurs statistiques rapportées aux échelles.

Il a été effectué en outre une estimation de l'augmentation de la capacité d'écoulement suivie d'une estimation de la modification de la probabilité découlant des modifications de capacité et de débit (cette approche est appelée ci-après « **évaluation rapportée aux tronçons** »). Ce type d'analyse tient compte à la fois des impacts des mesures de réduction des débits et des impacts des mesures ayant pour effet d'abaisser les niveaux d'eau par élargissement du profil d'écoulement.

La carte ci-dessous présente une vue générale de la zone d'analyse et distingue les tronçons du Rhin où une évaluation par échelle a été effectuée de ceux où il y a eu évaluation par tronçon.

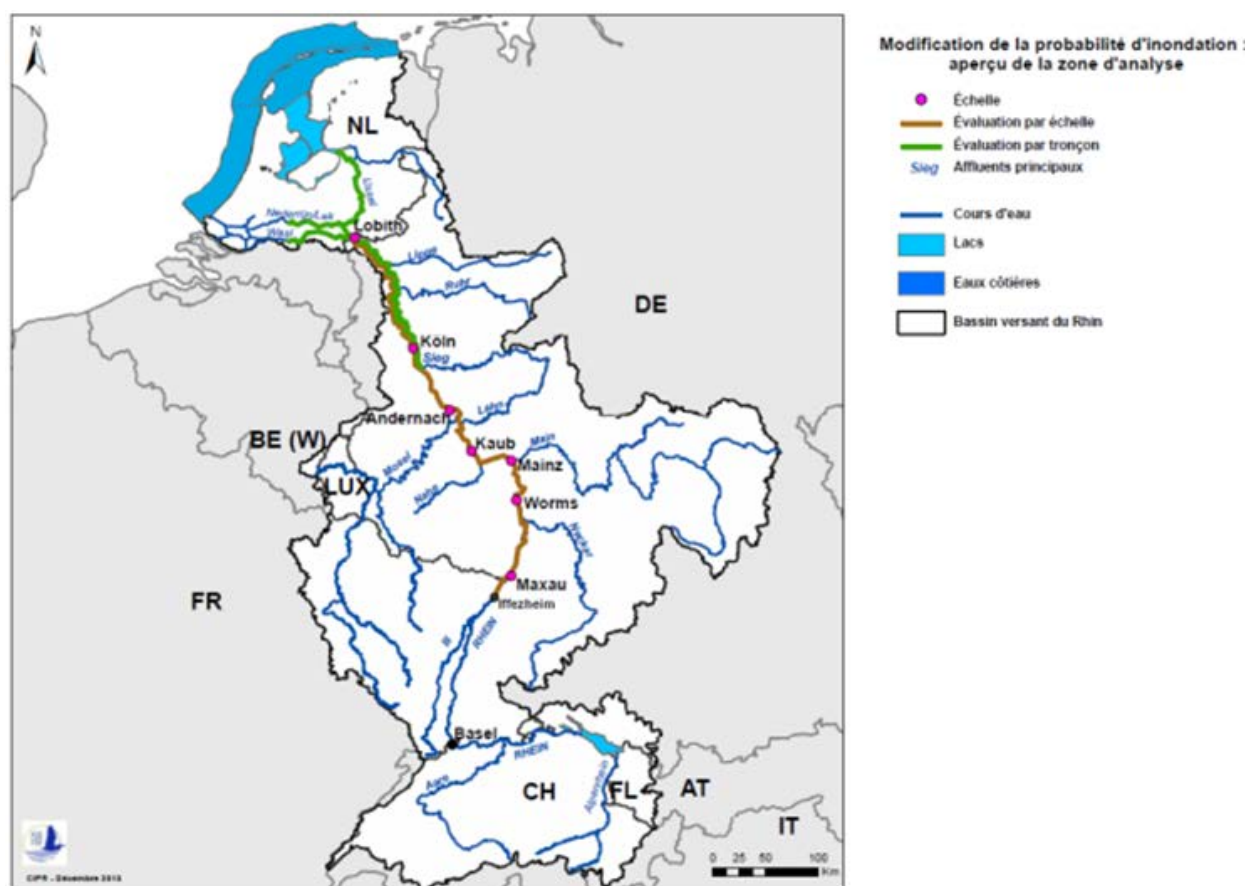


Fig. 1 : carte synoptique de la zone d'analyse

Pour « **l'évaluation rapportée aux échelles** », les modifications de récurrence ont été déterminées à partir des réductions de niveau d'eau et de débit calculées par le GE HVAL aux échelles suivantes (il s'agit d'échelles de manœuvre ou d'orientation sur le Rhin supérieur, le Rhin moyen et le Rhin inférieur) :

- Maxau
- Worms
- Mayence
- Kaub
- Andernach
- Cologne (*échelle de base pour l'évaluation rapportée aux tronçons*)
- Lobith (*échelle de base pour l'évaluation rapportée aux tronçons*)

Pour la partie en amont du débouché de la Sieg (c'est-à-dire pour le Rhin supérieur et le Rhin moyen), ces résultats rapportés aux échelles sont représentatifs des différents tronçons du Rhin (voir tableau 2).

Différentes mesures dont l'effet est d'abaisser le niveau d'eau sans entraîner généralement pour autant de modification du débit au droit des échelles de Cologne et de Lobith sont en cours de planification ou ont déjà été réalisées sur le tronçon du Rhin inférieur en Rhénanie-du-Nord-Westphalie en aval du débouché de la Sieg et dans les bras néerlandais du Rhin. Une évaluation de la réduction du débit, comme c'est le cas dans l'évaluation rapportée aux échelles, négligerait ces mécanismes d'action. Par ailleurs,

les mesures visant à abaisser le niveau d'eau ont parfois un effet local variable. Par conséquent, leurs effets sur les niveaux au droit des échelles (de Cologne et de Lobith) ne peuvent pas être considérés comme représentatifs des tronçons respectifs. Pour ces tronçons du Rhin, il a donc été fait appel à titre complémentaire à une « **évaluation rapportée aux tronçons** » (voir tableau 2).

Les résultats de ces deux volets ont été mis à la disposition du groupe d'experts HIRI de la CIPR pour les besoins de son analyse consistant à « évaluer les risques (de dommages liés aux) inondations » (voir annexe 6 : poster décrivant l'outil HIRI permettant d'identifier l'impact des mesures sur la réduction du risque d'inondation et calculs/analyses y afférents). Il faut disposer pour ce faire des modifications de la probabilité des crues à forte probabilité d'occurrence (~ HQ-10), à moyenne probabilité d'occurrence (~ HQ-100) et à faible probabilité d'occurrence (HQ extrême). Dans l'outil HIRI, les modifications de probabilité fixées ou générées constituent un des paramètres d'analyse et d'évaluation de la modification du risque d'inondation.

	Echelle de référence		Zone de validité		
	Désignation	PK	Désignation	de PK	à PK
Evaluation rapportée aux échelles	Maxau	362	Iffezheim – débouché du Neckar	334	428
	Worms	443	Débouché du Neckar - débouché du Main	428	497
	Mayence	498	Débouché du Main - débouché de la Nahe	497	529
	Kaub	546	Débouché de la Nahe - débouché de la Moselle	529	592
	Andernach	614	Débouché de la Moselle - débouché de la Sieg	592	659
	Cologne	688	Débouché de la Sieg - débouché de la Ruhr	659	780
Evaluation rapportée aux tronçons	Lobith	862	Débouché de la Ruhr - Pannerdensche Kop	780	867
			Nederrijn-Lek (IJsselkop - Kinderdijk/Lek)	879	989
			Waal (Pannerdensche Kop - Vuren/afgedamde Maas)	867	938
			IJssel (IJsselkop - Keteldiep)	879	1001

Tab. 2 : tronçons d'évaluation comme base d'évaluation du risque d'inondation par le GE HIRI

### 3. Données de base et méthode appliquée

#### 3.1. Données de base

L'analyse se fonde pour l'essentiel sur les débits et niveaux de pointe que le groupe d'experts HVAL a calculés pour 6 états d'aménagement (1977, 1995, 2005, 2010, 2029, 2020plus) dans le cadre de l'évaluation du PAI 2010 (CIPR 2012a et CIPR 2012b). Deux variantes ont été calculées pour le niveau de la crue extrême : une valeur théo-

rique que l'on obtiendrait s'il n'y avait pas de submersions de digues même en situation de crue extrême (> HQ500) et une valeur (plus réaliste) tenant compte de submersions de digues en cas de crue extrême.

L'analyse des modifications de la probabilité a été réalisée pour les valeurs de pointe calculées sans submersion de digues. On a ainsi évité que les impacts des mesures de réduction du niveau d'eau et du débit soient masqués par l'effet de rétention consécutif aux ruptures ou submersions de digues.

D'autres données de base importantes sont les **statistiques officielles de crues** des 7 échelles de référence du GE HVAL : Maxau, Worms, Kaub, Andernach, Cologne et Lobith (HSK 1978, MULEWF 1993, GT Statistiques 2001, RWS-RIZA 2001, LUA 2002). La méthode est décrite plus en détail dans les chapitres suivants.

Comme mentionné plus haut, l'évaluation des risques (de dommages) par le groupe d'experts HIRI de la CIPR se fonde sur les cartes nationales des zones inondables. **Les débits fixés dans le cadre de la CIPR pour chaque tronçon selon les 3 scénarios de probabilité de la DI (faible, moyenne et forte probabilité) dans le cadre de la mise en œuvre coordonnée de la DI dans le district hydrographique international du Rhin (DHI Rhin)** sont regroupés dans le tableau 3 ci-dessous (CIPR, 2014). Les travaux du GE HIRI reposent sur l'hypothèse que les surfaces inondables représentées dans les CZI de chacun des 3 scénarios de probabilité précités sont identiques pour les différents états d'aménagement du Rhin.

Tronçons du Rhin	Forte probabilité	Probabilité moyenne	Faible probabilité
D'Iffezheim au débouché du Neckar	4 100 m <sup>3</sup> /s	5 000 m <sup>3</sup> /s	6 500 m <sup>3</sup> /s
A partir du débouché du Neckar	4 750 m <sup>3</sup> /s	6 000 m <sup>3</sup> /s	7 600 m <sup>3</sup> /s
A partir du débouché du Main	5 700 m <sup>3</sup> /s	7 900 m <sup>3</sup> /s	10 300 m <sup>3</sup> /s
A partir du débouché de la Nahe	5 800 m <sup>3</sup> /s	8 000 m <sup>3</sup> /s	10 400 m <sup>3</sup> /s
A partir du débouché de la Moselle	8 810 m <sup>3</sup> /s	11 850 m <sup>3</sup> /s	15 250 m <sup>3</sup> /s
A partir du débouché de la Sieg	8 900 m <sup>3</sup> /s	11 700* m <sup>3</sup> /s	15 300 m <sup>3</sup> /s
A partir du débouché de la Ruhr	9 380 m <sup>3</sup> /s	12 200 m <sup>3</sup> /s	15 800 m <sup>3</sup> /s
A partir de Lobith	9 500 m <sup>3</sup> /s	12 700 m <sup>3</sup> /s	16 000 m <sup>3</sup> /s

\* La différence de débit entre le débouché de la Moselle et le Rhin inférieur s'explique par l'impact des rétentions.

Tab. 3 : débits attribués aux crues de forte, moyenne et faible probabilité définis en concertation dans le cadre de la mise en œuvre coordonnée de la DI dans le district hydrographique international Rhin (DHI Rhin) (en particulier pour les cartes des zones inondables).

### 3.2 Traitement des valeurs des statistiques officielles sur les crues

Une première étape de travail a consisté à déterminer une ligne de tendance linéaire pour les statistiques officielles aux échelles afin d'obtenir toutes les valeurs intermédiaires. Pour ce faire, on s'est fondé sur l'état 1977, lequel dispose de statistiques de crues officielles à toutes les échelles. L'avantage de cet état d'aménagement vient du fait qu'aucune mesure de rétention n'agissait encore à l'époque.

La figure 2 présente à titre d'exemple le résultat obtenu pour l'échelle de Worms. Les résultats s'appliquant aux autres échelles sont présentés en annexe 1.

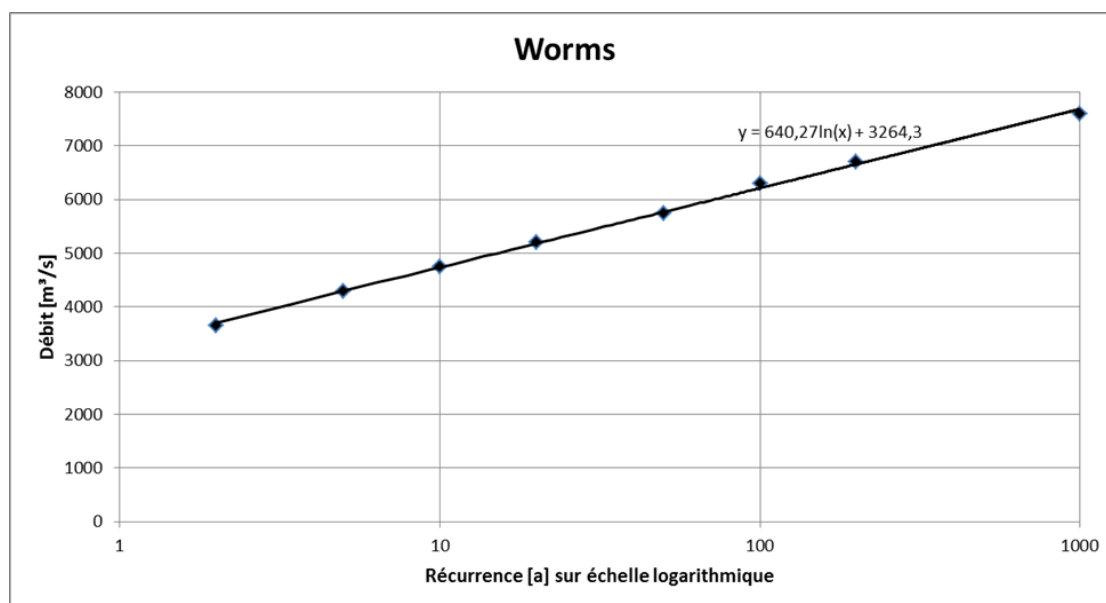


Fig. 2 : ligne de tendance pour l'échelle de Worms (base : statistiques officielles)

### 3.3 Détermination de la récurrence pour les débits de pointe calculés

Le collectif de crues analysé par le GE HVAL (abrégié par l'expression « collectif de crues HVAL » dans la suite du document) se base sur 18 crues historiques. Celles-ci ont été amplifiées ou diminuées à l'aide de 6 facteurs différents, ce qui a permis d'obtenir 108 crues synthétiques modélisées. Les calculs ont été effectués respectivement pour 6 états d'aménagement (1977, 1995, 2005, 2010, 2020 et 2020plus) et évalués pour chacune des échelles mentionnées. La démarche adoptée et les résultats obtenus figurent dans le rapport CIPR n° 199 (CIPR, 2012a).

La deuxième étape de travail a consisté tout d'abord à déterminer pour chaque échelle et pour chacune des 108 crues modélisées la récurrence à l'état 1977 à l'aide des lignes de tendance obtenues selon les explications figurant au chapitre 3.2. Dans l'hypothèse que la même probabilité s'applique à toutes les valeurs de pointe d'une crue modélisée (par ex. : « 12/1882 facteur 6 »), quel que soit l'état d'aménagement du fleuve, on a pu attribuer aux résultats des calculs des 5 autres états d'aménagement la même récurrence que celle calculée pour la modélisation de l'état d'aménagement 1977. Le tableau 4 présente à l'exemple de l'échelle de Worms le résultat de ce classement pour les 18 crues modélisées et en tenant compte, à titre d'exemple, du plus grand facteur d'amplification (facteur n°6).

Crue modélisée		Débits de pointe (m <sup>3</sup> /s) à hauteur de l'échelle de Worms / Rhin pour les états d'aménagement (sans submersion de digue) avec le plus grand facteur d'amplification						
Evénement	Facteur n° 6	1977		1995	2005	2010	2020	2020 plus
		Débit de pointe [m <sup>3</sup> /s]	Réurrences attribuées					
12/1882	1,00	7 905	1 400 a	7 310	7 043	7 040	6 707	6 337
12/1918	1,45	7 668	1 000 a	7 082	6 749	6 742	6 369	5 918
12/1919	1,20	7 624	910 a	7 172	6 908	6 899	6 571	6 434
12/1925	1,60	6 656	200 a	6 291	6 146	6 132	5 979	5 856
01/1955	1,20	7 563	830 a	7 374	7 218	7 215	7 120	6 927
02/1957	1,35	7 712	1 050 a	7 238	6 895	6 884	6 615	6 382
02/1970	1,40	7 752	1 100 a	7 393	7 221	7 215	6 938	6 816
05/1978	1,40	7 461	700 a	6 971	6 650	6 638	6 330	6 183
02/1980	1,60	7 470	700 a	6 884	6 788	6 786	6 620	6 163
04/1983	1,40	7 467	700 a	7 007	6 787	6 781	6 482	6 270
05/1983	1,40	7 559	810 a	6 921	6 764	6 763	6 673	6 315
03/1988	1,40	7 758	1 120 a	7 507	7 504	7 502	7 445	6 991
12/1993	1,45	7 708	1 000 a	7 401	7 324	7 319	7 119	7 007
01/1995	1,55	7 089	390 a	6 618	6 376	6 372	6 070	5 761
10/1998	2,10	7 580	850 a	7 315	7 249	7 243	7 062	6 987
02/1999	1,50	7 803	1 200 a	7 605	7 624	7 621	7 513	6 848
05/1999	1,25	5 435	30 a	5 074	4 844	4 843	4 680	4 648
01/2003	2,25	7 415	660 a	6 865	6 877	6 875	6 715	6 592

Tab. 4 : classement de récurrences pour les débits de pointe calculés (à titre d'exemple pour 18 crues modélisées, facteur n°6, échelle de Worms)

### 3.4 Mise au point de graphiques d'évaluation (par échelle) pour l'estimation des récurrences théoriques rapportées au collectif de crues HVAL

La troisième étape de travail a consisté à élaborer un graphique d'évaluation pour chaque échelle à analyser (cf. figure 3). Pour chaque état d'aménagement, les 108 valeurs de pointe calculées ont été reportées dans le graphique, conformément à leurs récurrences déterminées selon la méthode susmentionnée. Par ailleurs, une ligne de tendance a été déterminée et insérée pour les paires de valeurs constituées des débits de pointe et des récurrences de chaque état d'aménagement. La figure 3 présente à titre d'exemple pour l'échelle de Worms les 6 lignes de tendance en résultant. Les résultats de toutes autres échelles figurent en annexe 2.

Des marges d'incertitude ont été calculées en plus pour chaque échelle et état d'aménagement. On trouvera en annexe 3 le rendu des marges d'incertitude à l'exemple de l'échelle de Worms pour l'état 2010. Ces marges d'incertitudes n'ont pas été prises en compte de plus près dans les travaux du GE HVAL car le GE HIRI doit pouvoir disposer de modifications moyennes de récurrence pour la poursuite de ses analyses.

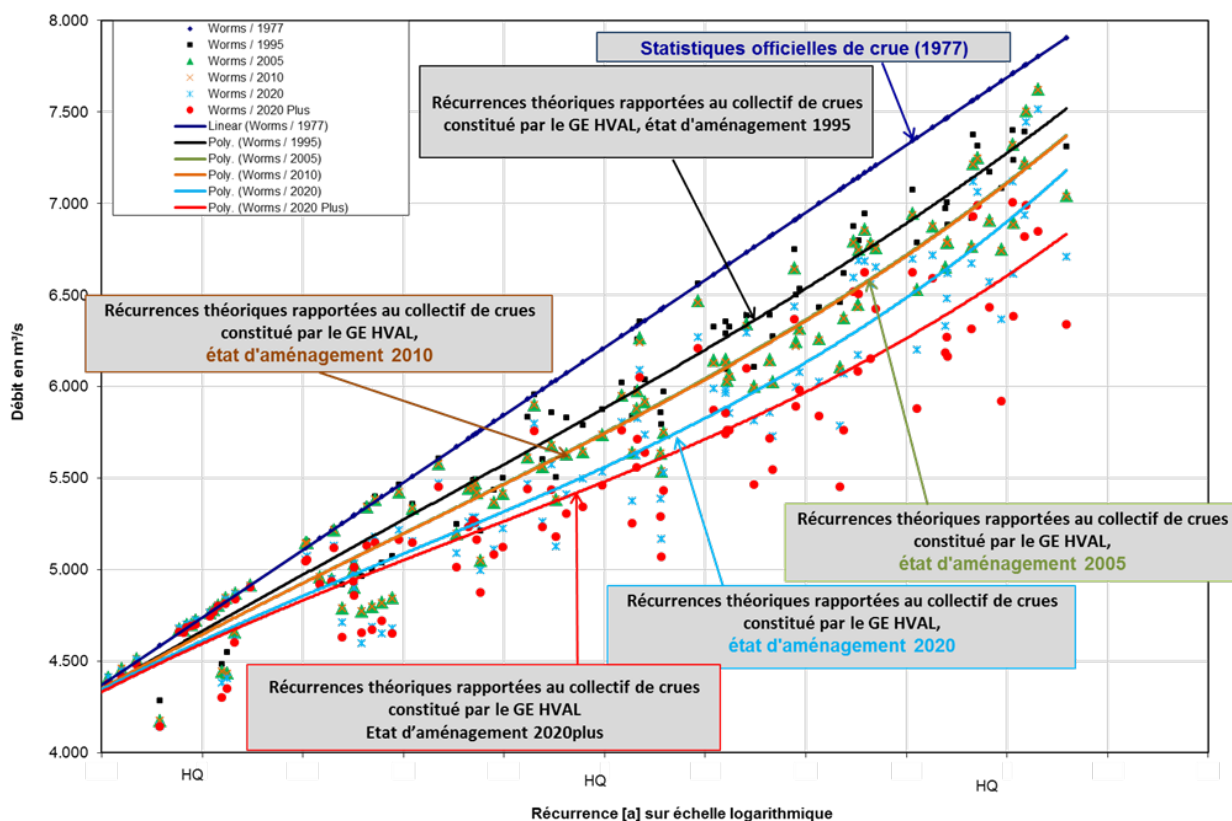


Fig. 3 : graphique d'évaluation à l'exemple de l'échelle de Worms

Remarque : comme on pouvait s'y attendre, les valeurs de pointe et les lignes de tendance des deux états d'aménagement 2005 et 2010 ne s'écartent que faiblement les unes des autres car les mesures de rétention réalisées pendant cette période sont peu nombreuses (voir annexes 4 et 5). Il est donc difficile de reconnaître dans les figures les différences entre ces deux états.

### 3.5 Evaluation rapportée aux échelles des graphiques d'évaluation

Deux méthodes jugées fondamentalement concevables ont été mises au point pour évaluer les récurrences. Pour identifier les modifications des récurrences des différents états d'aménagement, elles se distinguent en cela que

- la première part d'un débit donné alors que
- la seconde part d'une période de retour donnée.

Le GE HVAL a décidé d'opter pour la première méthode car le GE HIRI fonde ses calculs du risque sur des débits ajustés sur lesquels se basent les cartes des zones inondables établies au titre de la mise en œuvre de la DI dans le DHI Rhin.

Partant du graphique d'évaluation susmentionné, cette méthode se présente comme suit :

partant d'un **débit** donné, il est indiqué quelle est la récurrence de ce débit pour les différents états d'aménagement. Ce débit peut être par ex. un de ceux listés dans le tableau 3. Cette méthode permet donc d'attribuer à tous les débits figurant dans ces ta-

bleaux des probabilités d'occurrence pour chaque état d'aménagement et est donc un outil approprié pour déterminer, comme le demande le groupe d'experts HIRI, la modification des récurrences des débits sous l'effet de mesures de réduction des crues.

L'approche suivie est présentée schématiquement dans la figure 4 et exposée plus clairement à l'aide de l'exemple suivant :

- supposons que l'on désire obtenir les périodes de retour d'une crue de probabilité d'occurrence moyenne à l'échelle de Worms. Selon les dispositions fixées pour la DI pour le tronçon du Rhin compris entre le débouché du Neckar et le débouché du Main, ceci correspond à un débit de 6 000 m<sup>3</sup>/s (voir tableau 3).
- Pour l'état d'aménagement 1995, ce débit à Worms correspond à une période de retour de 123 ans.
- Pour l'état d'aménagement 2020, il est attribué à ce débit une période de retour de 245 ans.

Concrètement, les récurrences ne sont pas obtenues sous forme graphique mais sous forme chiffrée à l'aide des fonctions sous-jacentes aux lignes de tendance. Il est ainsi possible, pour un quelconque débit choisi dans l'éventail hydraulique analysé, de déterminer la récurrence correspondant à chaque état d'aménagement.

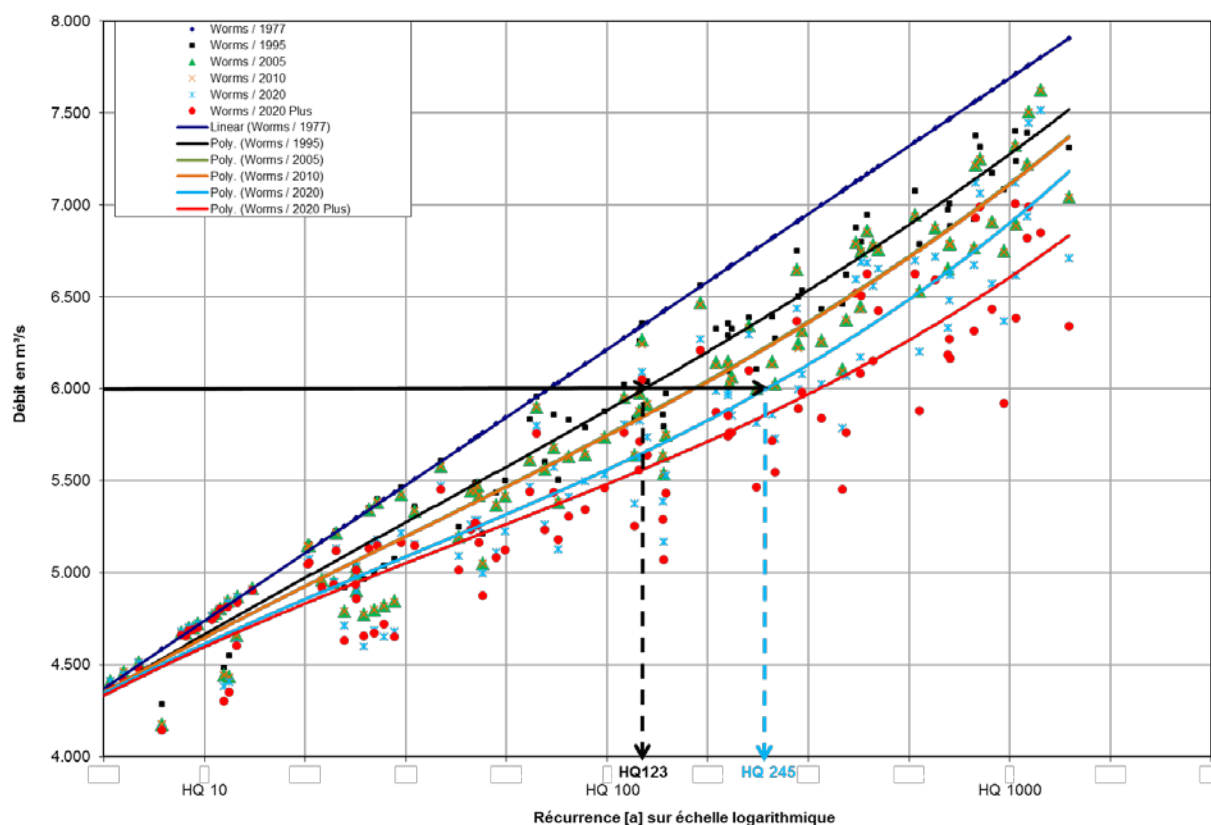


Fig. 4 : procédure de détermination des récurrences à l'exemple de l'échelle de Worms

Les résultats sont ensuite rendus pour chaque échelle sous forme de tableau, comme exposé à titre d'exemple dans le tableau 5 pour le tronçon « Rhin supérieur/débouché du Neckar – débouché du Main (échelle de Worms) » (voir tous les résultats au chapitre 1, tableau 1 ou au chapitre 4, tableau 8). Il est attribué ici aux débits (ajustés dans le



cadre de la DI) de « forte », « moyenne » et « faible » probabilité indiqués dans le tableau 3 une récurrence pour chaque état d'aménagement.

Tronçon	Probabilités	Débits [m <sup>3</sup> /s]	Récurrences théoriques [a] rapportées à la méthode appliquée avec le collectif de crues analysé par le GE HVAL				
			pour les états d'aménagement				
			1995	2005	2010	2020	2020plus
<i>Evaluation rapportée aux échelles</i>							
<b>Echelle de Worms (Rhin supérieur/débouché du Neckar – débouché du Main)</b>							
Récurrences de crue rapportées au collectif de crues constitué par le GE HVAL	forte probabilité	4750 m <sup>3</sup> /s	12 a	12 a	12 a	14 a	14 a
	probabilité moyenne	6000 m <sup>3</sup> /s	123 a	162 a	166 a	245 a	324 a
	faible probabilité	7600 m <sup>3</sup> /s	1585 a	1862 a	1862 a	2344 a	3631 a

Tab. 5 : récurrences théoriques rapportées au collectif de crues HVAL et obtenues à l'exemple de l'échelle de Worms

### 3.6 Détermination de la (modification de la) capacité d'écoulement dans les tronçons du Rhin au nord du débouché de la Sieg

Pour identifier la modification de la capacité d'écoulement consécutive aux mesures d'élargissement du profil d'écoulement qui ont un effet important d'abaissement des niveaux d'eau en période de crue à partir du débouché de la Sieg, on détermine dans un premier temps la relation niveau d'eau/débit pour chaque profil en travers du fleuve (tous les 500 mètres) et pour chacun des 6 états d'aménagement (1977, 1995, 2005, 2010, 2020 et 2020plus). Les données de base sont ici les débits de pointe et niveaux d'eau de pointe calculés par le GE HVAL pour les 108 crues modélisées. La méthode appliquée ne consiste pas, comme d'usage habituellement, à fixer la relation entre niveau d'eau et débit sur le profil même, mais à identifier la relation entre le niveau d'eau sur le profil et le débit au niveau de l'échelle de référence (Cologne ou Lobith). Il est ainsi fait un lien direct entre les débits à hauteur de l'échelle et les niveaux d'eau correspondants sur le tronçon. Cologne est ici l'échelle de référence pour le tronçon compris entre le débouché de la Sieg et celui de la Ruhr et Lobith l'échelle de référence pour les tronçons débouché de la Ruhr - « Pannerdensche Kop », Waal, Nederrijn-Lek et IJssel.

Cette étape est nécessaire car elle seule permet d'établir une relation entre le niveau d'eau sur le tronçon et les statistiques de crue, ces dernières étant exprimées sous forme de débits rapportés aux échelles. En outre, les débits en un lieu donné ne sont pas toujours identiques à ceux en présence au droit de l'échelle de référence. Cette remarque est tout particulièrement valable pour les bras néerlandais du Rhin. Ici, l'échelle de Lobith est l'échelle de référence des 3 principaux bras du Rhin (Waal, Nederrijn-Lek et IJssel). La subdivision du Rhin en trois bras entraîne juste en aval de Lobith une répartition du débit dans ces trois bras (env. 2/3 sur le Waal, 2/9 sur le Nederrijn-Lek et 1/9 sur l'IJssel). La figure 5 montre à titre d'exemple le résultat obtenu pour le Waal au PK 882 dans les états d'aménagement 1995 et 2020.

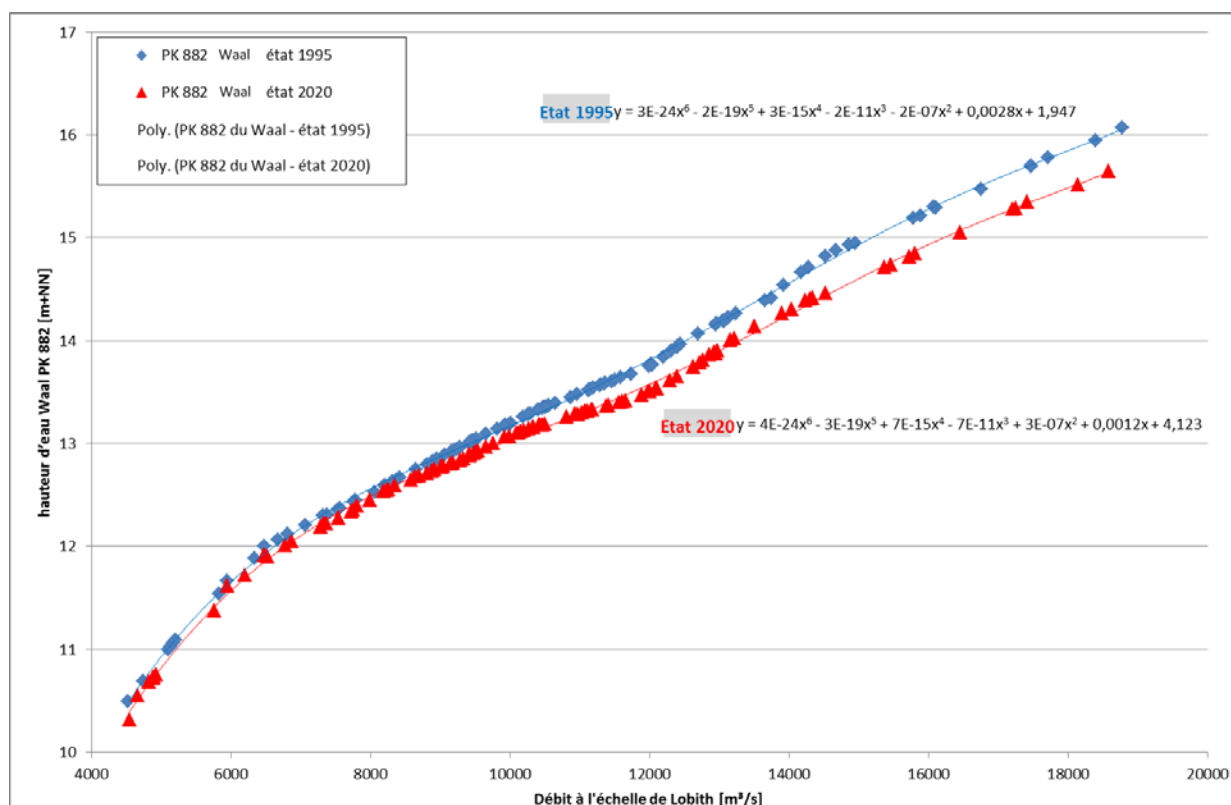


Fig. 5 : relation entre le débit à l'échelle de référence (ici Lobith) et le niveau d'eau sur le profil en travers pris à titre d'exemple au PK 882 du Waal dans les états d'aménagement 1995 et 2020.

Une fois cette étape effectuée, il est alors possible de déterminer pour chaque profil, par exemple à l'état 2020, le niveau d'eau correspondant à un quelconque débit pour une échelle de référence donnée. Les débits de référence requis pour déterminer la capacité d'écoulement sont attribués ici à l'état d'aménagement 2020, car ils ne seront atteints qu'une fois réalisées les mesures d'aménagement fixées dans le programme néerlandais « Espace pour le fleuve ». Dans une seconde étape, il est déterminé pour chaque profil le débit pour l'échelle de référence correspondant au même niveau d'eau dans un autre état d'aménagement (par ex. 1995). La figure 6 montre comment s'effectue cette démarche à l'exemple du Waal au PK 882. Concrètement, cette détermination n'est pas obtenue sous forme graphique mais sous forme chiffrée à l'aide des lignes de tendance (polynôme de 6<sup>ème</sup> degré) pour la relation niveau d'eau/débit.

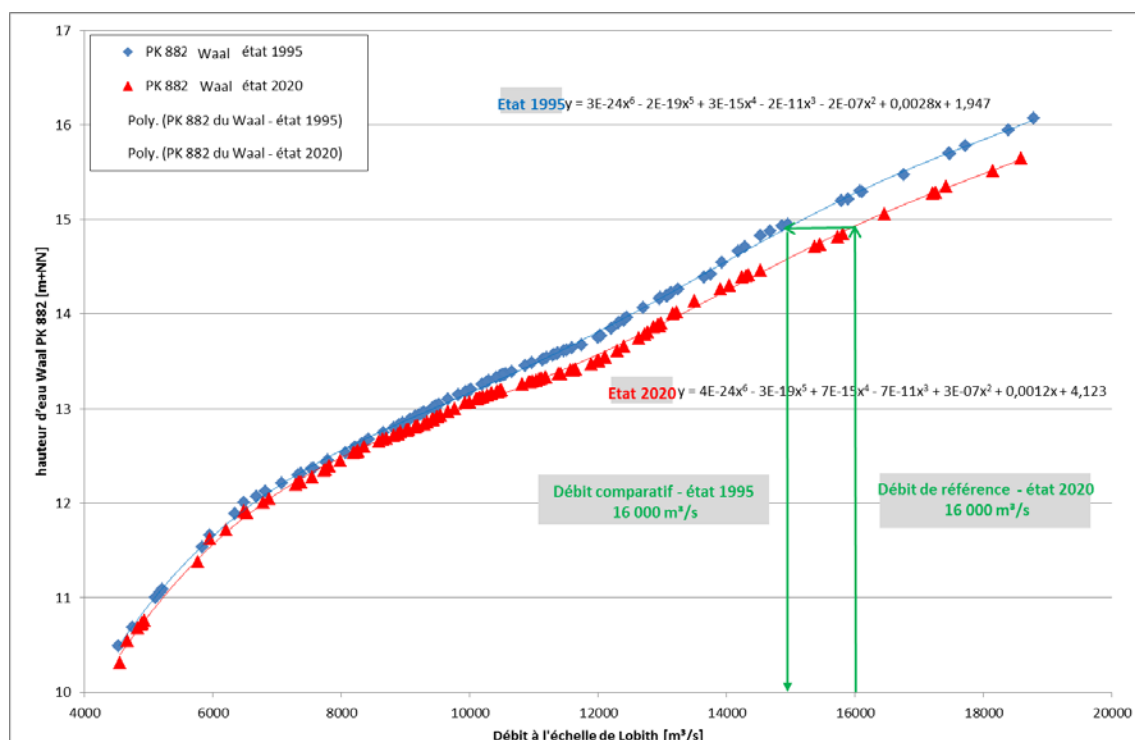


Fig. 6 : détermination de la (modification de la) capacité d'écoulement à partir de la figure 5 « Relation entre le débit à l'échelle de référence (ici Lobith) et le niveau d'eau sur le profil fluvial à l'exemple du PK 882 du Waal dans les états d'aménagement 1995 et 2020 ».

Partant d'un débit de référence donné à une échelle de référence donnée, il en résulte pour chaque profil d'un tronçon fluvial un débit comparatif correspondant dans l'état d'aménagement considéré. La figure 7 montre sous forme schématique le profil longitudinal des débits comparatifs obtenus. Par formation de la moyenne sur le profil longitudinal, on peut déterminer le débit comparatif moyen.

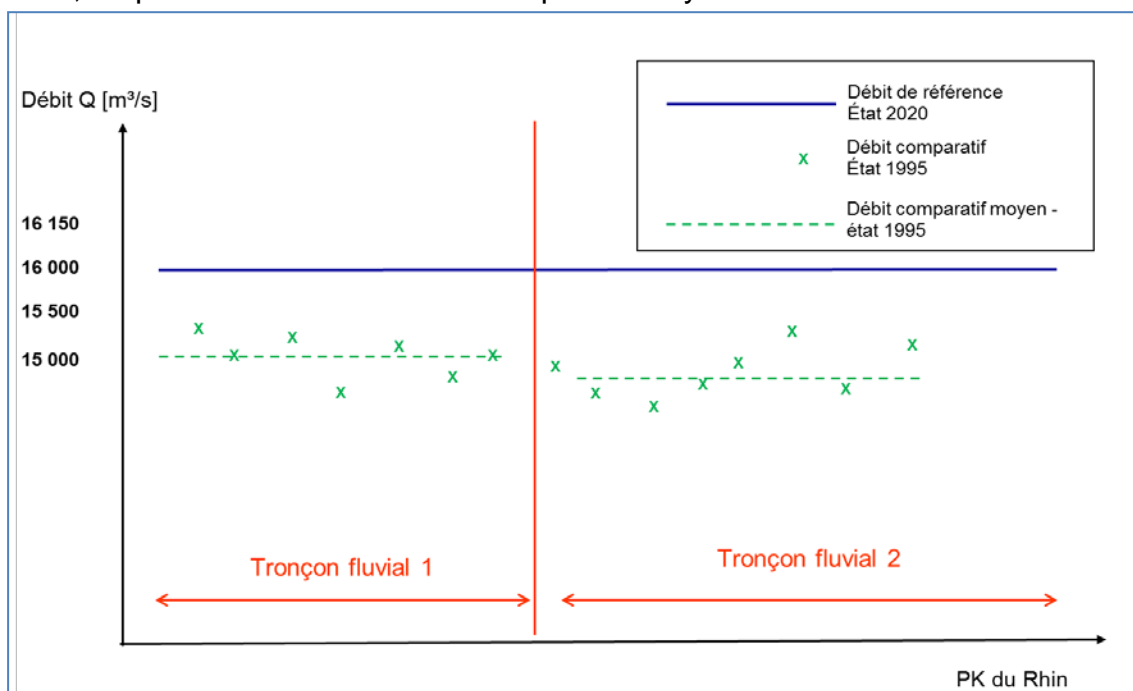


Fig. 7 : profil longitudinal des débits comparatifs (présentation schématique)

Le tableau 6 montre à l'exemple du Waal le résultat des capacités moyennes d'écoulement pour les différents états d'aménagement et les différentes classes de probabilité (forte probabilité, probabilité moyenne et faible probabilité) définies au titre de la DI.

Tronçon	Probabilités	Capacité moyenne d'écoulement [m <sup>3</sup> /s]				
		Etats d'aménagement				
		1995	2005	2010	2020	2020plus
<i>Evaluation rapportée aux tronçons</i>						
<b>Waal (jusqu'au PK 938) *</b>						
capacité moyenne d'écoulement [m <sup>3</sup> /s]	forte probabilité	9324	9326	9325	9500	9500
	probabilité moyenne	12415	12408	12418	12700	12708
	faible probabilité	15761	15764	15781	16000	15984
<i>*Indications de débit pour l'échelle de Lobith</i>						

Tab. 6 : résultat : capacités moyennes d'écoulement sur le Waal.

### 3.7. Evaluation rapportée aux tronçons des graphiques d'évaluation pour estimer les récurrences théoriques rapportées au collectif de crues constitué par le GE HVAL

Tout comme pour l'évaluation rapportée aux échelles, il est fait appel aux graphiques d'évaluation - établis selon la démarche présentée au chapitre 3.4 - pour estimer les récurrences théoriques rapportées au collectif de crues constitué par le GE HVAL.

Partant d'un débit (de référence) donné (par exemple celui de la crue de faible probabilité, à laquelle le tableau 3 attribue 16 000 m<sup>3</sup>/s pour le tronçon rhénan en aval de Lobith), il est d'abord calculé les capacités d'écoulement correspondant à tous les états d'aménagement dans les tronçons fluviaux considérés (par ex. le Waal ; voir chapitre 3.6). Les résultats pour le Waal sont rassemblés dans le tableau 6. A l'aide du graphique d'évaluation, il est alors possible de déterminer la récurrence correspondant à chaque débit du tableau 6. La figure 8 le montre à l'exemple d'une crue de faible récurrence pour les états d'aménagement 2020 et 1995.

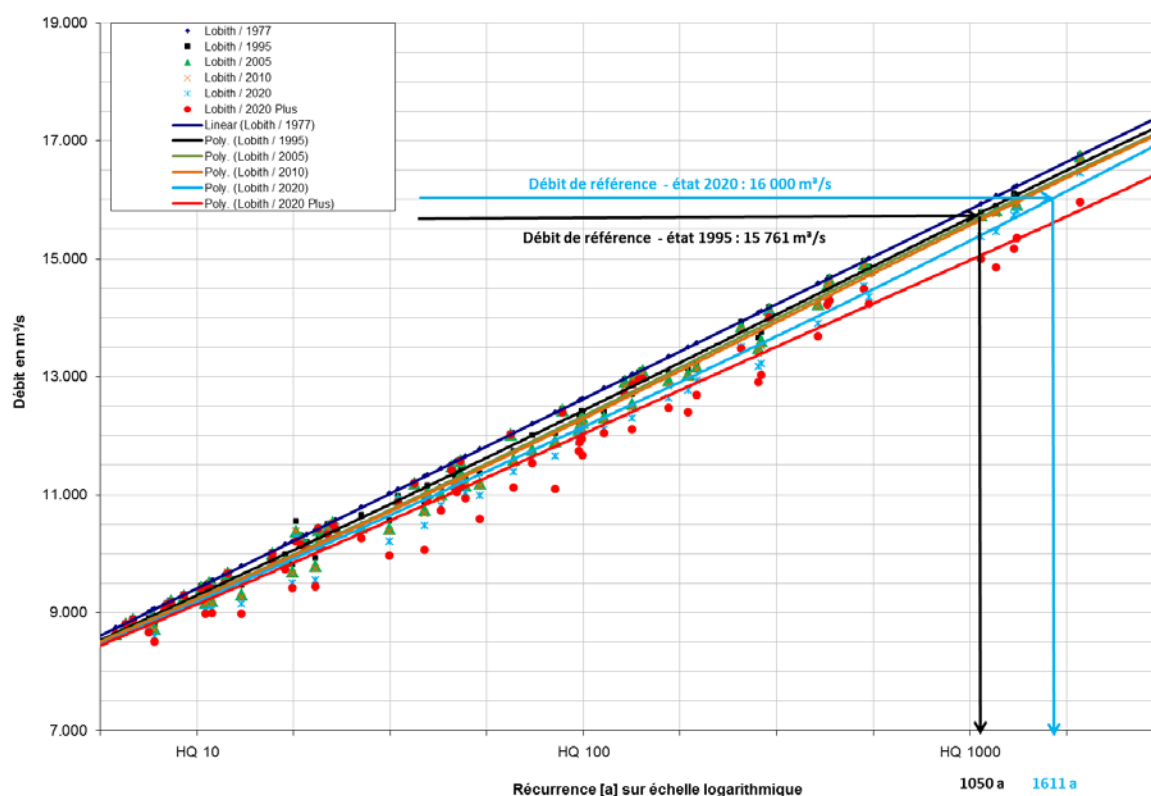


Fig. 8 : méthode de détermination des récurrences à l'exemple du Waal, évaluation rapportée aux tronçons

Concrètement et comme pour l'évaluation rapportée aux échelles, les récurrences ne sont pas obtenues sous forme graphique mais à l'aide des fonctions des lignes de tendance. Le tableau 7 présente les résultats obtenus à l'exemple du Waal. Il convient ici d'attirer l'attention sur une particularité : en raison de l'impact des marées ressenti à partir du PK 938 et qui s'amplifie progressivement vers l'aval, il n'est plus possible d'établir à partir de ce PK un rapport explicite entre les niveaux d'eau sur les profils transversaux et les débits à l'échelle de Lobith. Les modifications de récurrence déterminées pour le Waal ne sont donc valables que pour la zone allant jusqu'au PK 938.

Tronçon	Probabilités	Débits [m <sup>3</sup> /s]	Récurrences théoriques [a] rapportées à la méthode appliquée avec le collectif de crues analysé par le GE HVAL pour les états d'aménagement				
			1995	2005	2010	2020	2020plus
<i>Evaluation rapportée aux tronçons</i>							
<b>Waal (jusqu'au PK 938) *</b>							
Récurrences de crue rapportées au collectif de crues constitué par le GE HVAL	forte probabilité	9 500 m <sup>3</sup> /s	10 a	11 a	11 a	13 a	13 a
	probabilité moyenne	12 700 m <sup>3</sup> /s	99 a	105 a	110 a	152 a	169 a
	faible probabilité	16 000 m <sup>3</sup> /s	1050 a	1107 a	1161 a	1611 a	2178 a
<small>*Indications de débit pour l'échelle de Lobith</small>							

Tab. 7 : récurrences théoriques déterminée à l'exemple du Waal, évaluation rapporté aux tronçons

## 4. Résultats

### 4.1 Remarques préliminaires sur l'interprétation des résultats

#### a) Indications sur la comparabilité des résultats avec les valeurs officielles des statistiques de crues :

Le collectif de crues analysé par le GE HVAL se fonde sur des crues synthétiques modélisées. Par rapport aux statistiques officielles (obtenues sur la base de pointes de crues mesurées), ces crues synthétiques évoluent uniquement dans un ordre de grandeur comparable.

A propos des modifications de probabilité obtenues pour les différents états d'aménagement, il convient de retenir les points suivants :

- La modification de probabilité obtenue pour un HQ extrême repose sur des hypothèses théoriques car les calculs ne prennent pas en compte les submersions de digues qui se produiraient en situation réelle.
- La base de données du GE HVAL rassemble des valeurs de pointe jusqu'à un ordre de grandeur HQ 1000 dans l'état d'aménagement 1977, le nombre de valeurs de pointe considéré dans cette plage de débit extrême restant toutefois très bas. Les estimations réalisées sur les modifications de probabilité ne s'appliquent donc qu'à des pointes de crue atteignant au maximum cette récurrence et ne peuvent être utilisées que dans le cadre des analyses du GE HIRI.
- Pour le scénario extrême, la présente analyse ne vise pas à reproduire la modification réelle de la probabilité (il faudrait, dans un tel cas, prendre en compte les submersions de digues), mais à décrire sous forme chiffrée la modification de probabilité consécutive aux mesures du Plan d'Action contre les Inondations.
- L'état 1995 est le niveau de référence déterminant pour le GE HIRI. Il en résulte que les différences chiffrées sont moins importantes que lorsqu'on se réfère à l'état 1977.

b) Information sur les questions portant sur la convention passée entre la France et l'Allemagne au sujet de la protection contre les inondations du Rhin supérieur :

Dans le cadre des analyses du GE HVAL,

- on a analysé des crues de différentes récurrences ;
- les débits de pointe au droit du débouché de la Murg et du Neckar n'ont pas été évalués ;
- on s'est basé sur des règlements de manœuvre simplifiés pour les mesures de rétention et on a négligé les inondations écologiques ;
- on est parti de l'hypothèse que la même récurrence s'appliquait à toutes les valeurs de pointe d'une crue modélisée (par ex. « 12/1882 facteur 6 »), quel que soit l'état d'aménagement du fleuve, en attribuant la récurrence obtenue pour la modélisation de l'état d'aménagement 1977 aux résultats des calculs des 5 autres états (ultérieurs) d'aménagement (cf. tableau 4).

Il n'est donc pas admissible, sous l'angle scientifique, de transposer directement les résultats de calcul obtenus ici aux analyses d'efficacité réalisées conformément aux critères des contrats franco-allemands.

c) Remarque sur l'utilisation des résultats à d'autres fins

Les résultats disponibles ont été élaborés dans le cadre des questionnements spécifiques du GE HVAL. Pour toute autre question sortant de ce cadre, il convient de soumettre les résultats du GE HVAL à une analyse au cas par cas plus poussée afin de déterminer si la méthode appliquée pour les obtenir et si leur contenu informatif autorise leur utilisation à d'autres fins (par ex. une analyse coûts-avantages).

## 4.2 Synthèse des résultats

Les résultats des calculs des récurrences rapportées au collectif de crues constitué par le GE HVAL pour les états d'aménagement 1995, 2005, 2010, 2020 et 2020plus figurent dans le tableau 8 pour l'évaluation rapportée aux échelles et dans le tableau 9 pour l'évaluation rapportée aux tronçons. Ici, les résultats de l'évaluation rapportée aux échelles de Cologne et de Lobith (tab. 8) sont uniquement utilisés pour générer l'évaluation rapportée aux tronçons (tab. 9). Ils ne mettent en relief que la modification de récurrence résultant de l'impact des mesures sur le débit. Etant donné que la plupart des mesures ne font effet sur le Rhin en aval du débouché de la Sieg que sur le niveau d'eau sans impacter le débit, il a été nécessaire de réaliser dans une seconde étape une évaluation rapportée aux tronçons pour cette partie du Rhin. Les résultats présentés dans le tableau 8 pour les échelles de Cologne et de Lobith ne sont donc que des étapes intermédiaires menant à l'évaluation rapportée aux tronçons dont les résultats figurent dans le tableau 9.

Selon la date considérée, les récurrences déterminées et leurs modifications reflètent le volume de rétention croissant rendu disponible par les mesures réalisées (voir tableau de l'annexe 5 a). Si l'on considère par exemple l'augmentation du volume de rétention à l'échelle de Worms, on constate, pour une crue HQextrême, que les modifications de récurrence sont les plus fortes dans le cas des états d'aménagement 2020 et 2020plus.

Ces modifications se retrouvent dans les résultats des récurrences théoriques obtenues pour les débits d'occurrence moyenne ou faible.

L'impact des mesures, exprimé par les modifications de récurrence, s'amenuise nettement avec l'apport du flux de la Moselle (cf. tableau 8, résultats mentionnés pour l'échelle d'Andernach représentant le tronçon rhénan compris entre les débouchés de la Moselle et de la Sieg). Seules les crues provenant essentiellement ou également du Rhin supérieur peuvent être influencées par les mesures de rétention. Plus la contribution de la Moselle à la formation de la crue est importante à hauteur de l'échelle d'Andernach, plus est faible l'impact des mesures de rétention du Rhin supérieur sur cette crue.

Pour les tronçons rhénans situés en aval du débouché de la Sieg (tableau 9), on relève les modifications les plus importantes entre les états 2010 et 2020 ainsi qu'entre les états 2020 et 2020plus, et ceci pour toutes les catégories de crues (probabilité élevée, moyenne et faible). La raison en est principalement la finalisation des mesures d'élargissement profil d'écoulement jusqu'en 2020. Surtout dans le cas des crues de moyenne et de faible probabilité, l'augmentation des récurrences est probablement due principalement aux mesures de rétention prévues sur le Rhin supérieur et le Rhin inférieur après 2020.

L'impact variable des mesures sur les récurrences dans les trois bras néerlandais du Rhin est un autre élément marquant. Les grandes différences caractérisant la capacité hydraulique de ces trois bras rhénans (le Waal transportant env. les 2/3 du débit entrant à Lobith, alors que le Nederrijn/Lek n'en reçoit que 2/9<sup>ème</sup> et l'IJssel 1/9<sup>ème</sup>) et l'efficacité des mesures de type variable (par ex. abaissement d'épis à grande échelle dans le Waal et cuvettes d'inondation/reculs de digues le long de l'IJssel) sont ici nettement perceptibles.

On rappellera en outre que les récurrences déterminées n'ont été prises en compte pour le Waal que jusqu'au PK 938. En raison de l'impact des marées ressenti à partir du PK 938 et qui s'amplifie progressivement vers l'aval, il n'est plus possible d'établir à partir de ce PK un rapport explicite entre les niveaux d'eau sur les profils transversaux et les débits à l'échelle de Lobith (voir chapitres 3.6 et 3.7).



Tronçon	Probabilités	Débits [m <sup>3</sup> /s]	Récurrences théoriques [a] rapportées à la méthode appliquée avec le collectif de crues analysé par le GE HVAL				
			pour les états d'aménagement				
			1995	2005	2010	2020	2020plus
<b>Echelle de Maxau (Rhin supérieur/Iffezheim – débouché du Neckar)</b>							
Récurrences de crue rapportées au collectif de crues constitué par le GE HVAL	forte probabilité	4 100 m <sup>3</sup> /s	14 a	17 a	17 a	19 a	21 a
	probabilité moyenne	5 000 m <sup>3</sup> /s	145 a	182 a	182 a	209 a	282 a
	faible probabilité	6 500 m <sup>3</sup> /s	1698 a	1778 a	1778 a	1778 a	1950 a
<b>Echelle de Worms (Rhin supérieur/débouché du Neckar – débouché du Main)</b>							
Récurrences de crue rapportées au collectif de crues constitué par le GE HVAL	forte probabilité	4 750 m <sup>3</sup> /s	12 a	12 a	12 a	14 a	14 a
	probabilité moyenne	6 000 m <sup>3</sup> /s	123 a	162 a	166 a	245 a	324 a
	faible probabilité	7 600 m <sup>3</sup> /s	1585 a	1862 a	1862 a	2344 a	3631 a
<b>Echelle de Mayence (Rhin supérieur/débouché du Main – débouché de la Nahe)</b>							
Récurrences de crue rapportées au collectif de crues constitué par le GE HVAL	forte probabilité	5 700 m <sup>3</sup> /s	11 a	11 a	11 a	13 a	13 a
	probabilité moyenne	7 900 m <sup>3</sup> /s	129 a	151 a	155 a	182 a	240 a
	faible probabilité	10 300 m <sup>3</sup> /s	1622 a	1622 a	1622 a	1778 a	1995 a
<b>Échelle de Kaub (Rhin moyen/débouché de la Nahe-débouché de la Moselle)</b>							
Récurrences de crue rapportées au collectif de crues constitué par le GE HVAL	forte probabilité	5 800 m <sup>3</sup> /s	11 a	11 a	12 a	13 a	13 a
	probabilité moyenne	8 000 m <sup>3</sup> /s	129 a	148 a	155 a	178 a	234 a
	faible probabilité	400 m <sup>3</sup> /s	1622 a	1660 a	1660 a	1820 a	1905 a
<b>Echelle d'Andernach (Rhin moyen/débouché de la Moselle-débouché de la Sieg)</b>							
Récurrences de crue rapportées au collectif de crues constitué par le GE HVAL	forte probabilité	8 810 m <sup>3</sup> /s	11 a	11 a	11 a	12 a	12 a
	probabilité moyenne	11 850 m <sup>3</sup> /s	100 a	107 a	110 a	120 a	138 a
	faible probabilité	15 250 m <sup>3</sup> /s	1023 a	1096 a	1122 a	1175 a	1259 a
<b>Echelle de Cologne (l'évaluation rapportée aux échelles sert uniquement de base à l'évaluation rapportée aux tronçons dans le tab. 9)</b>							
Récurrences de crue rapportées au collectif de crues constitué par le GE HVAL	forte probabilité	8 900 m <sup>3</sup> /s	10 a	11 a	11 a	11 a	11 a
	probabilité moyenne	11 700 m <sup>3</sup> /s	87 a	93 a	98 a	107 a	120 a
	faible probabilité	15 300 m <sup>3</sup> /s	1175 a	1259 a	1288 a	1349 a	1445 a
<b>Echelle de Lobith (l'évaluation rapportée aux échelles sert uniquement de base à l'évaluation rapportée aux tronçons dans le tab. 9)</b>							
Récurrences de crue rapportées au collectif de crues constitué par le GE HVAL	forte probabilité	9 500 m <sup>3</sup> /s	12 a	12 a	13 a	13 a	13 a
	probabilité moyenne	12 700 m <sup>3</sup> /s	123 a	129 a	135 a	151 a	166 a
	faible probabilité	16 000 m <sup>3</sup> /s	1259 a	1318 a	1349 a	1622 a	2188 a

Tab. 8 : résultats de l'évaluation rapportée aux échelles Vue synoptique des récurrences théoriques obtenues pour le collectif de crues analysé par le GE HVAL L'approche utilisée pour les échelles de Cologne et Lobith est expliquée dans le chap. 4.2, les résultats sont présentés dans le tableau 9.

Tronçon	Probabilités	Débits [m <sup>3</sup> /s]	Récurrences théoriques [a] rapportées à la méthode appliquée avec le collectif de crues analysé par le GE HVAL pour les états d'aménagement				
			1995	2005	2010	2020	2020plus
<b>Evaluation rapportée aux tronçons</b>							
<b>Débouché de la Sieg – débouché de la Ruhr</b>							
Récurrences de crue rapportées au collectif de crues constitué par le GE HVAL	forte probabilité	8 900 m <sup>3</sup> /s	11 a	11 a	11 a	11 a	12 a
	probabilité moyenne	11 700 m <sup>3</sup> /s	94 a	93 a	96 a	106 a	120 a
	faible probabilité	15 300 m <sup>3</sup> /s	1140 a	1130 a	1170 a	1358 a	1466 a
<b>Débouché de la Ruhr – Pannerdensche Kop</b>							
Récurrences de crue rapportées au collectif de crues constitué par le GE HVAL	forte probabilité	9 380 m <sup>3</sup> /s	10 a	10 a	10 a	12 a	12 a
	probabilité moyenne	12 200 m <sup>3</sup> /s	79 a	79 a	78 a	104 a	115 a
	faible probabilité	15 800 m <sup>3</sup> /s	763 a	751 a	743 a	1402 a	1706 a
<b>Waal (jusqu'au PK 938) *</b>							
Récurrences de crue rapportées au collectif de crues constitué par le GE HVAL	forte probabilité	9 500 m <sup>3</sup> /s	10 a	11 a	11 a	13 a	13 a
	probabilité moyenne	12 700 m <sup>3</sup> /s	99 a	105 a	110 a	152 a	169 a
	faible probabilité	16 000 m <sup>3</sup> /s	1050 a	1107 a	1161 a	1611 a	2178 a
<b>Nederrijn-Lek*</b>							
Récurrences de crue rapportées au collectif de crues constitué par le GE HVAL	forte probabilité	9 500 m <sup>3</sup> /s	10 a	10 a	10 a	13 a	13 a
	probabilité moyenne	12 700 m <sup>3</sup> /s	80 a	83 a	93 a	151 a	166 a
	faible probabilité	16 000 m <sup>3</sup> /s	881 a	912 a	975 a	1611 a	2070 a
<b>IJssel*</b>							
Récurrences de crue rapportées au collectif de crues constitué par le GE HVAL	forte probabilité	9 500 m <sup>3</sup> /s	3 a	3 a	3 a	13 a	13 a
	probabilité moyenne	12 700 m <sup>3</sup> /s	20 a	22 a	22 a	147 a	158 a
	faible probabilité	16 000 m <sup>3</sup> /s	344 a	364 a	392 a	1611 a	2080 a
<i>*Indications de débit pour l'échelle de Lobith</i>							

Tab. 9 : résultats de l'évaluation rapportée aux tronçons Vue synoptique des récurrences théoriques obtenues pour le collectif de crues analysé par le GE HVAL

---

## Bibliographie

- GT Statistiques (2001) : Débits de crue selon différentes fréquences aux limnimètres du Rhin à Maxau et Worms. Groupe de travail 'Statistiques' de la Commission permanente pour l'aménagement du Rhin entre Kehl/Strasbourg et Neuburgweier/Lauterbourg.
- HSK, 1978 : Schlussbericht der Hochwasserstudienkommission für den Rhein / Rapport Final de la Commission d'Etude des Crues du Rhin.
- HVAL, 2006 : 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 jusqu'en 2005
- HVAL, 2009 : Approche d'identification de l'efficacité de mesures dans le bassin du Rhin et dans le Rhin (objectif opérationnel n° 2 du Plan d'Action contre les inondations) 2010 – 2015 – 2020, document HVAL(1)09-03f
- CIPR, 1998 : Plan d'Action contre les inondations. Commission Internationale pour la Protection du Rhin
- CIPR, 2006 : 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. Rapport final (rapport CIPR n° 153f).
- CIPR (2012a) : Identification de l'efficacité de mesures de réduction des niveaux de crue dans le Rhin. Mise en œuvre du Plan d'Action contre les Inondations 1995 - 2010 et prévisions pour 2020 et 2020+. Rapport final (rapport CIPR n° 199f).
- CIPR (2012b) : Plan d'Action contre les Inondations 1995 - 2010 : Objectifs opérationnels, mise en œuvre et résultats. Bilan synthétique. (rapport CIPR n° 200f).
- CIPR, 2013 : Document de travail sur la « Mise en œuvre de la DI : mise au point de l'Atlas du Rhin 2013/2014 » (GIS(2)13-04-01)
- CIPR, 2014 : Rapport sur l'élaboration de cartes des zones inondables et des risques d'inondation dans le district hydrographique international 'Rhin' (bassin > 2 500 km<sup>2</sup>, partie A) et l'échange d'informations, au titre de l'article 6, paragraphe 2 de la directive communautaire relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation (DI)
- LUA [Ed.], 2002 : Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeiten HQT an den Pegel des Rheins. Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (LUA), Essen 2002, ISSN 1610-9619.
- LUBW/OFEV, février 2010 : Aktualisierung des Hochwasserabfluss-Längsschnitts für den Hochrhein (abgestimmter Endbericht). Bericht des Instituts für Wasser und Gewässerentwicklung des Karlsruher Institut für Technologie im Auftrag von Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), Regierungspräsidium Freiburg (RPF) und Bundesamt für Umwelt der Schweizerischen Eidgenossenschaft (BAFU)
- MULEWF (Ministerium für Umwelt Rheinland-Pfalz) - Untersuchungen der Hochwasserstudiengruppe für die Rheinstrecke Kaub-Rolandswerth, 1993 : Der Einfluss des

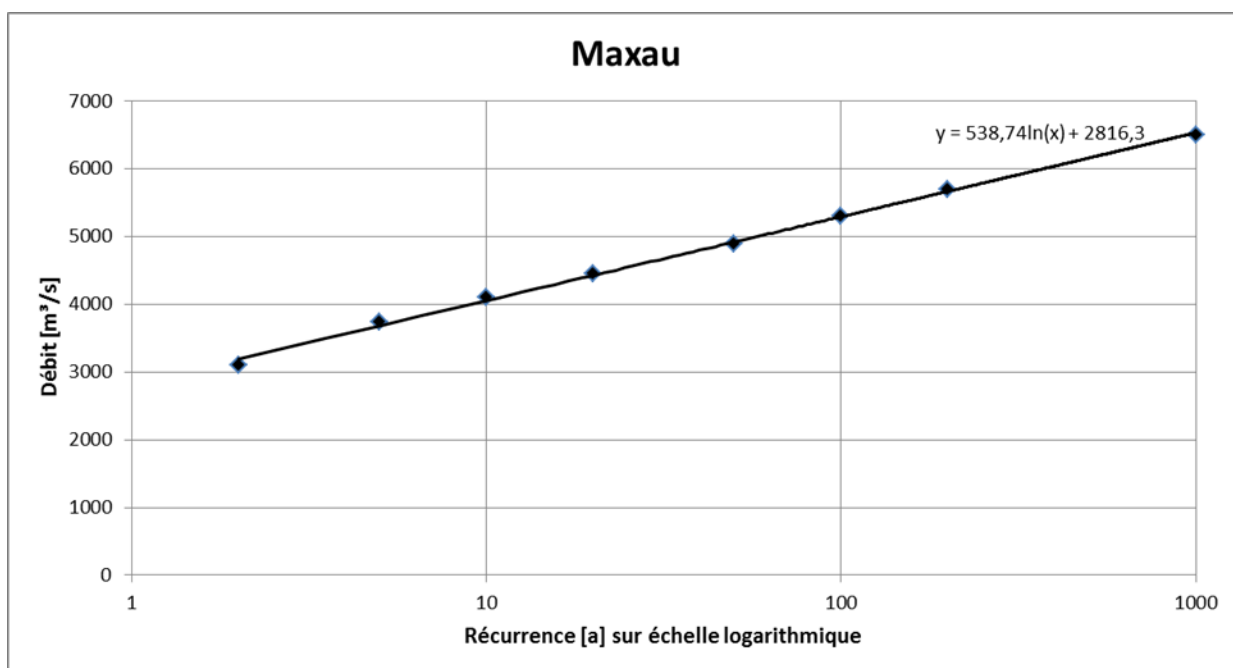
Oberrheinausbaus und der am Oberrhein vorgesehenen Retentionsmaßnahmen auf die Hochwasser am Mittelrhein von Kaub bis Köln. Auswirkung der Rückhaltemaßnahmen am Oberrhein nach dem deutsch-französischen Vertrag von 1982. Materialien zum Hochwasserschutz am Rhein. 74 S.; Anlagen

RWS-RIZA, 2001: Hydraulische Randvoorwaarden 2001; Maatgevende afvoeren Rijn en Maas, RIZA rapport 2002.014, Arnhem 2001, ISBN 9036954355

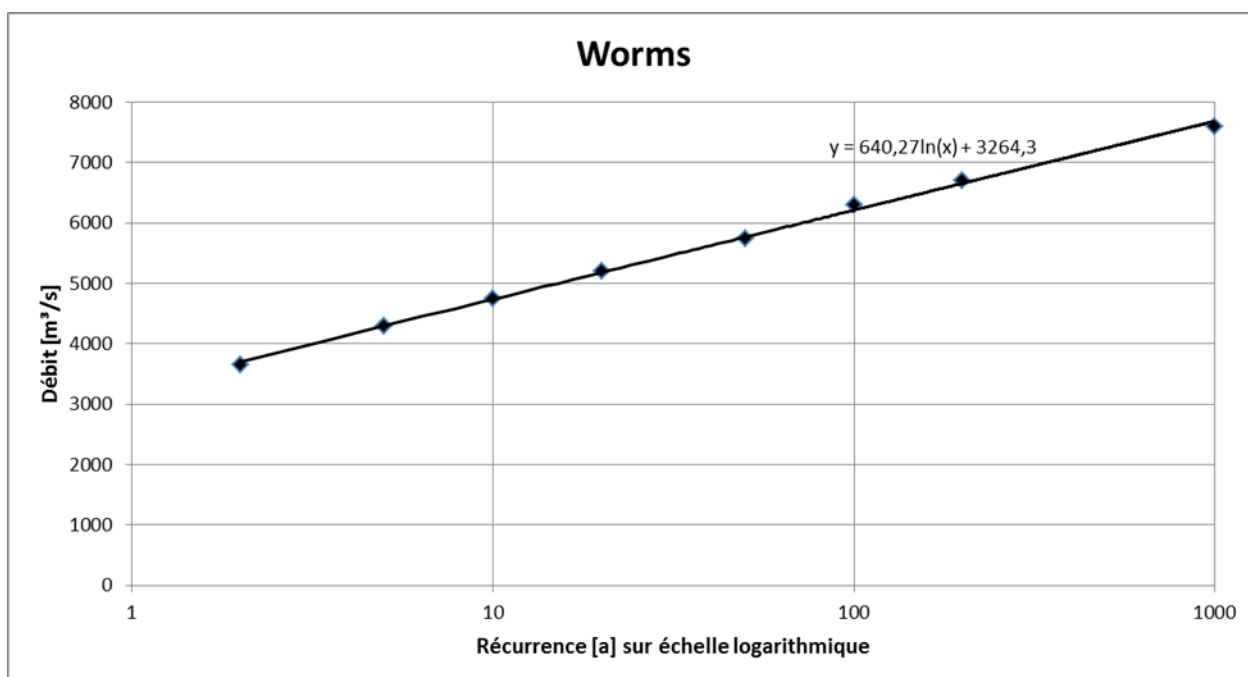
Commission permanente, 1998 : Vérification de l'efficacité des mesures de rétention des crues sur le Rhin supérieur entre Bâle et Worms compte tenu des inondations écologiques. GT Identification de l'efficacité des mesures

## Annexes

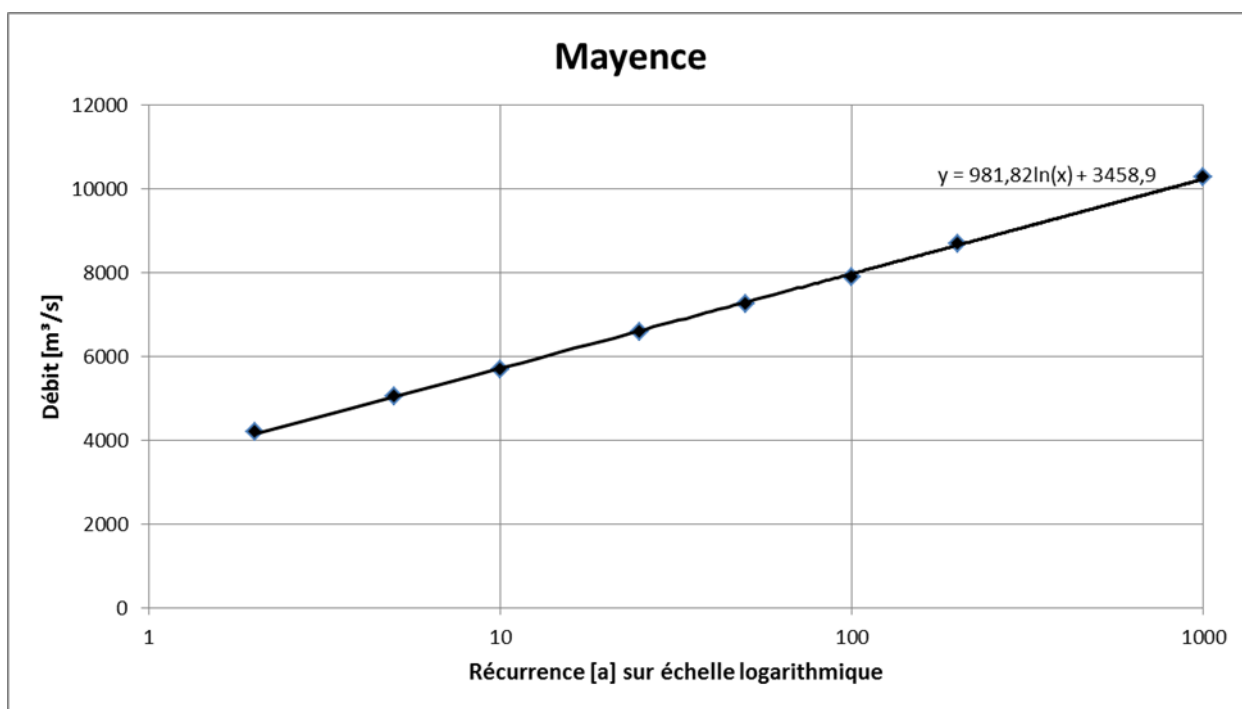
### Annexe 1 : lignes de tendance « statistiques officielles » pour les échelles de référence



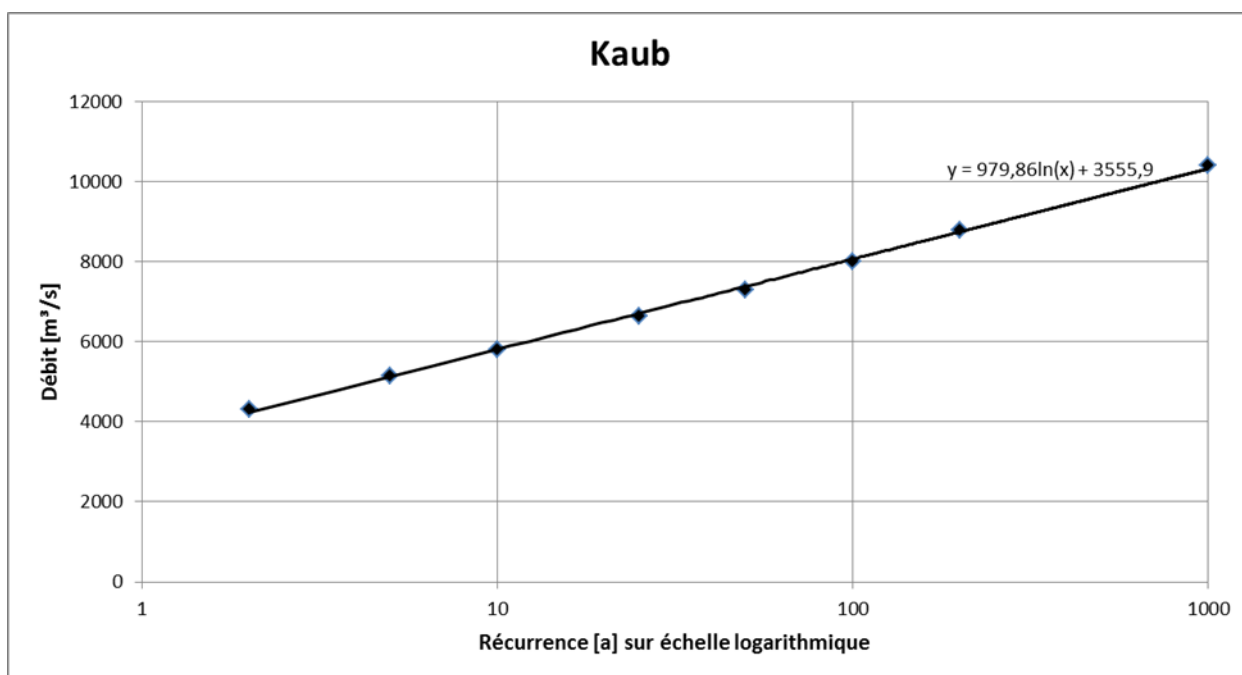
Annexe 1a : ligne de tendance pour l'échelle de Maxau (base : statistiques officielles)



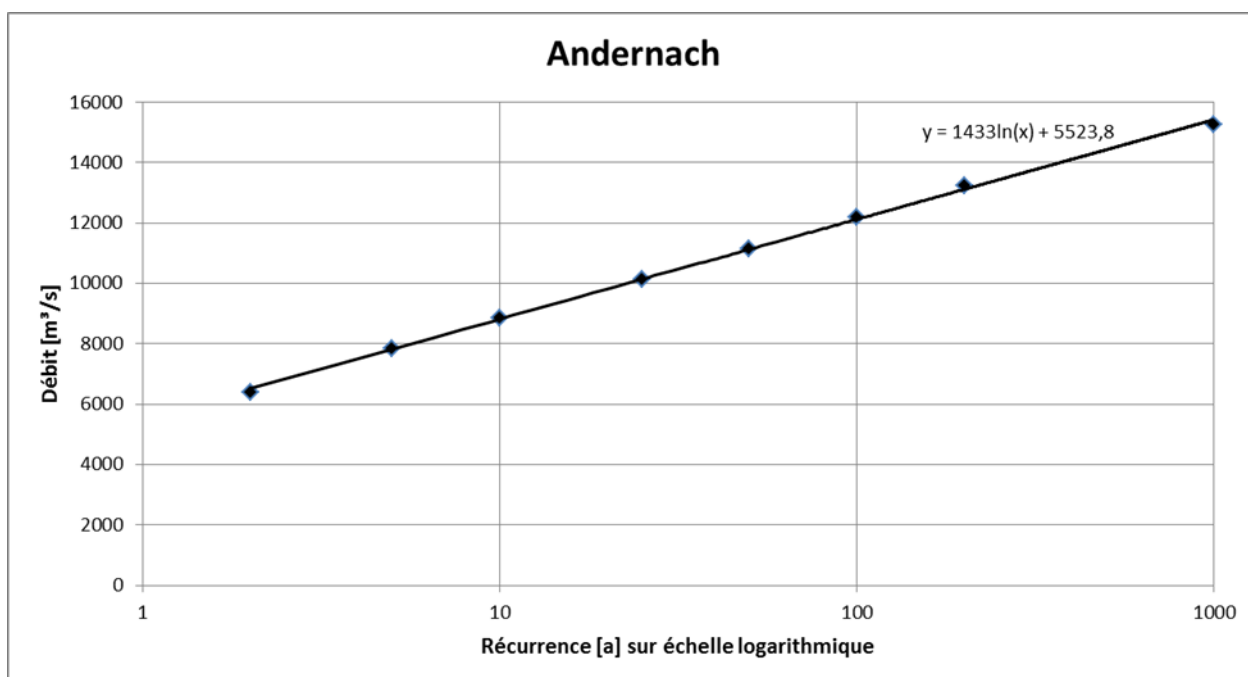
Annexe 1b : ligne de tendance pour l'échelle de Worms (base : statistiques officielles)



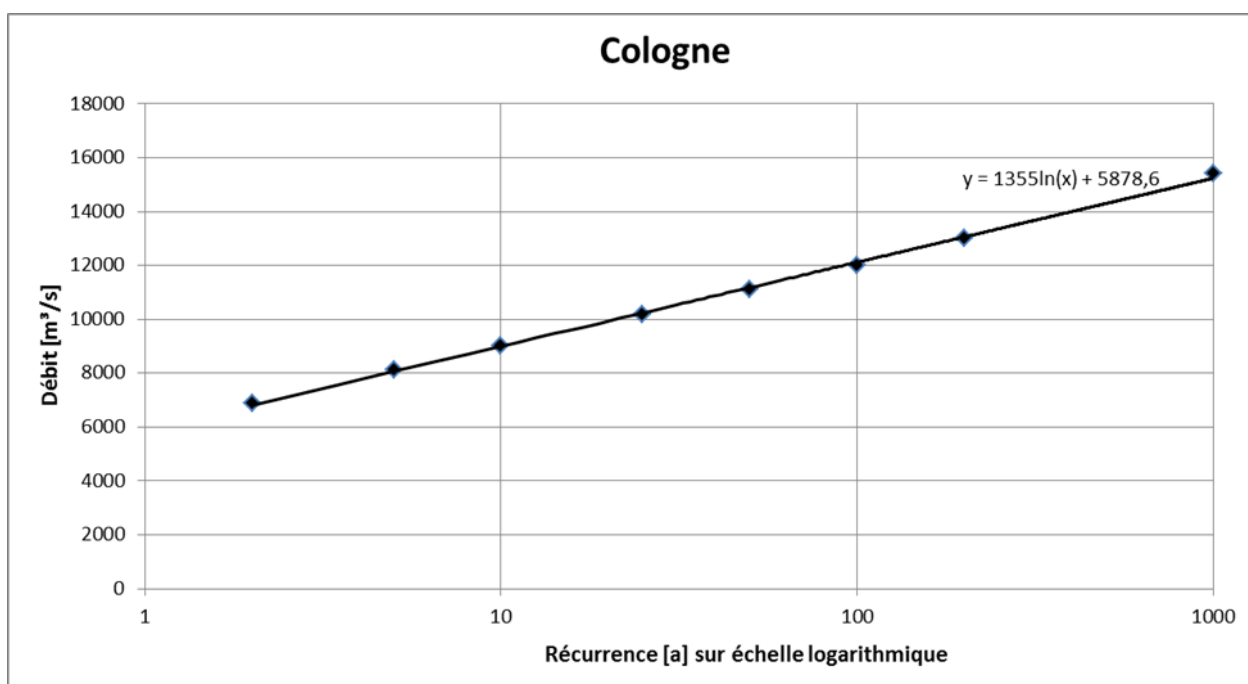
Annexe 1c : Ligne de tendance pour l'échelle de Mayence (base : statistiques officielles)



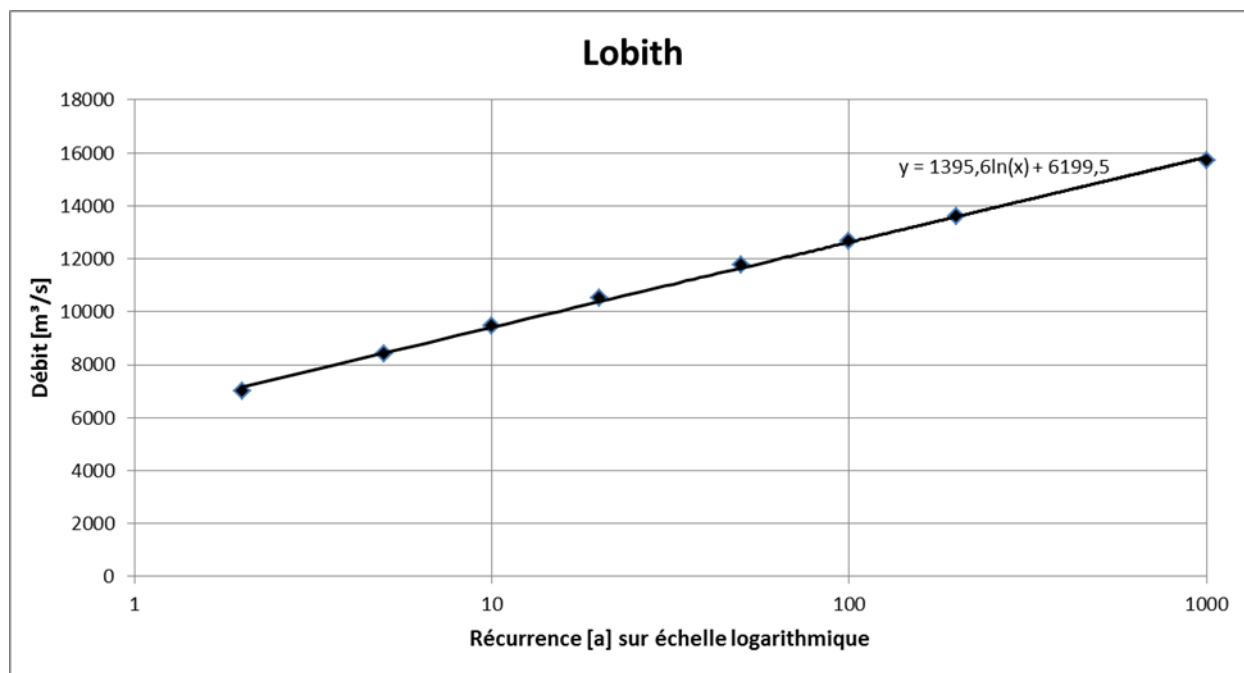
Annexe 1d : ligne de tendance pour l'échelle de Kaub (base : statistiques officielles)



Annexe 1e : ligne de tendance pour l'échelle d'Andernach (base : statistiques officielles)



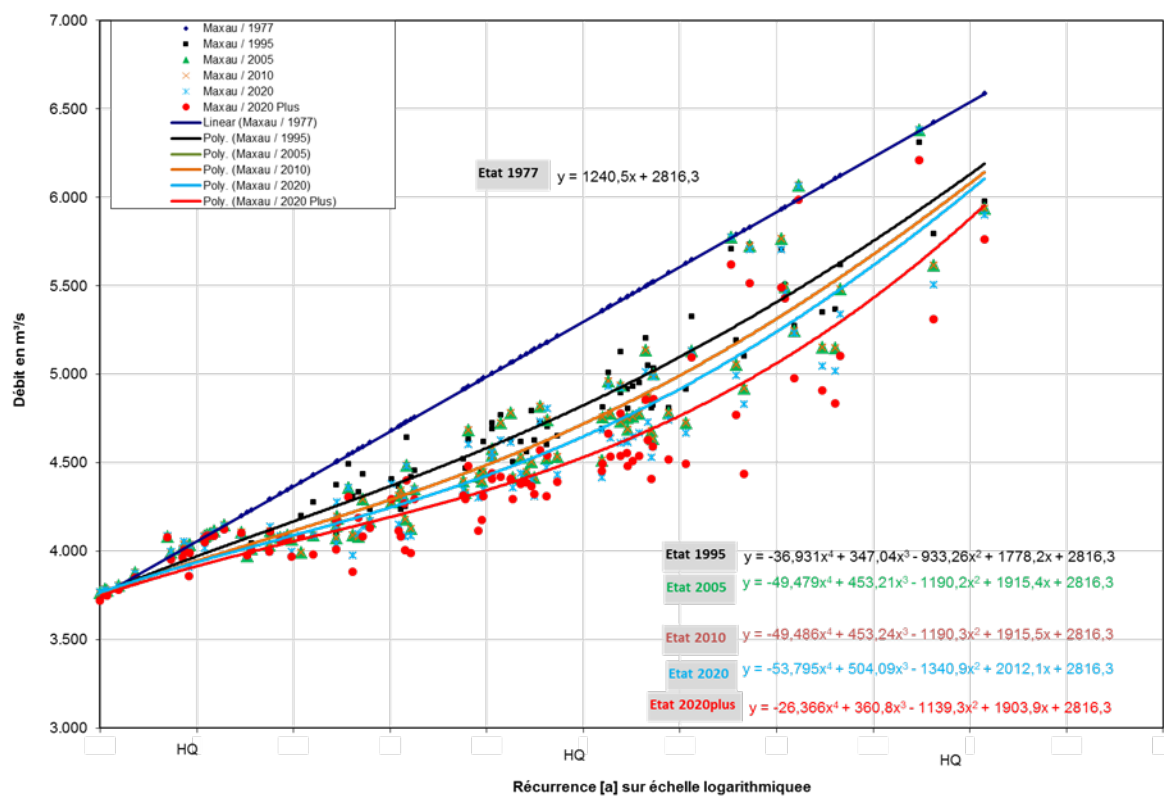
Annexe 1f : ligne de tendance pour l'échelle de Cologne (base : statistiques officielles)



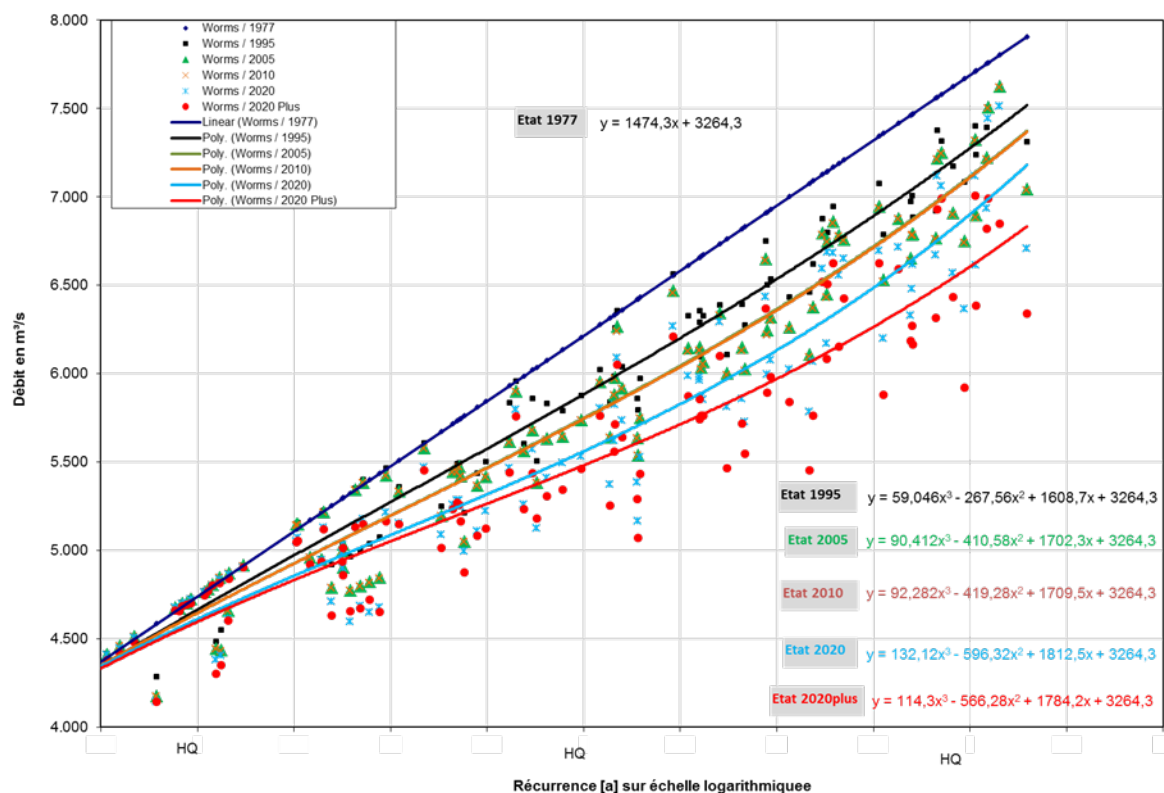
Annexe 1g : Ligne de tendance pour l'échelle de Lobith (base : statistiques officielles)



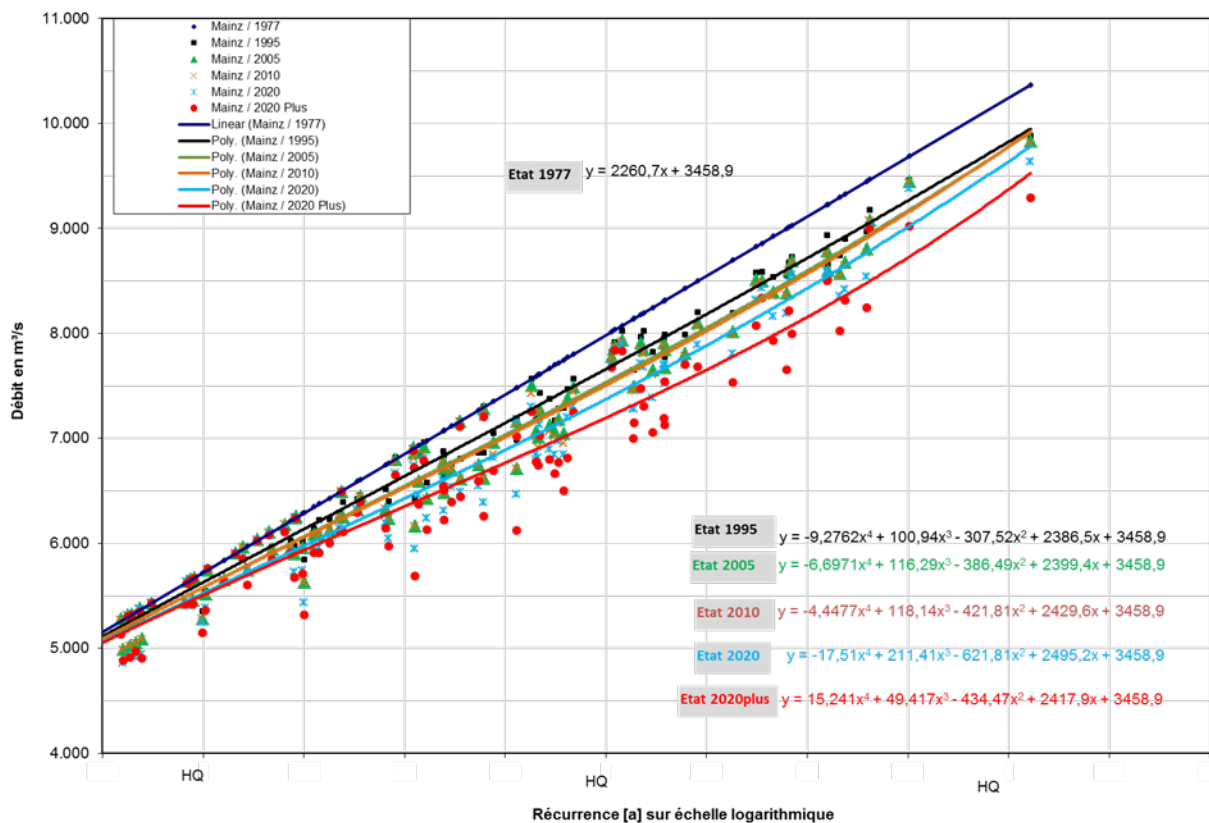
## Annexe 2 : graphiques d'évaluation de l'estimation rapportée aux échelles et aux tronçons des récurrences théoriques du collectif de crues constitué par le GE HVAL



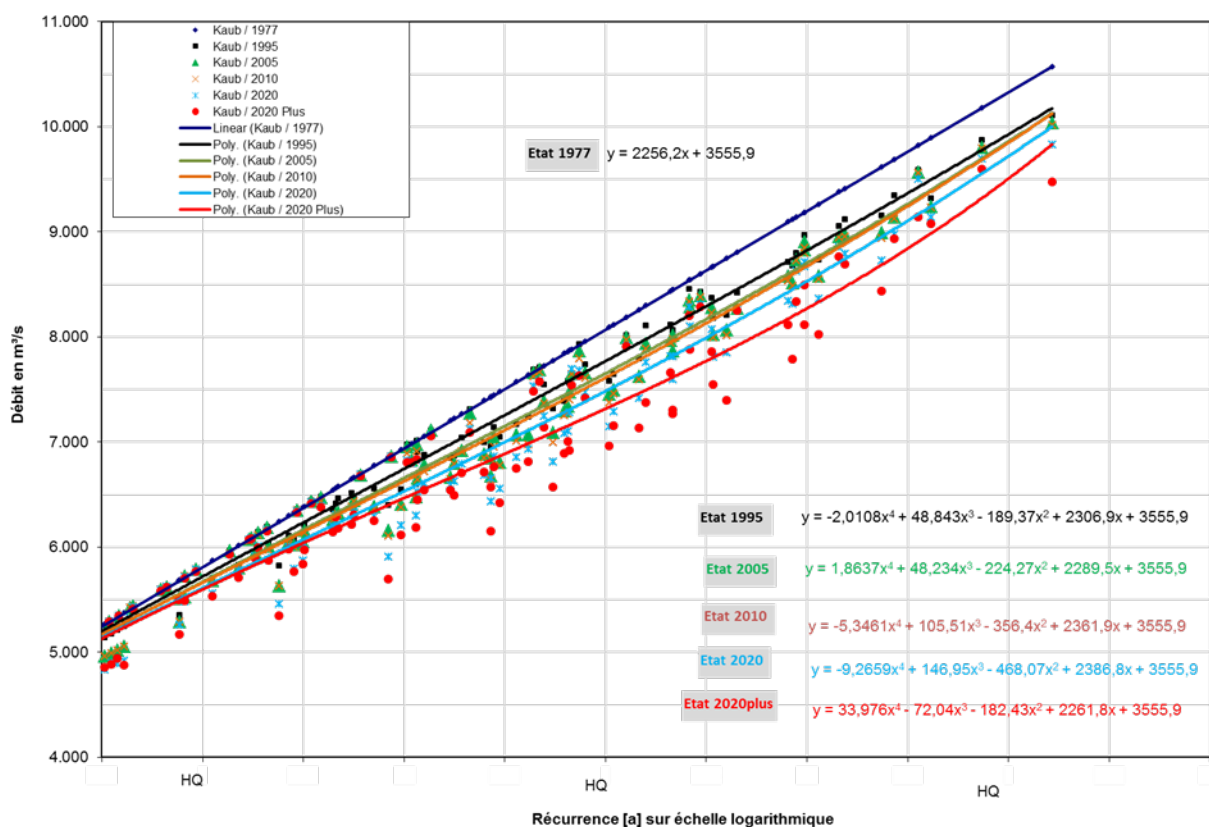
### Annexe 2a : graphique d'évaluation, échelle de Maxau



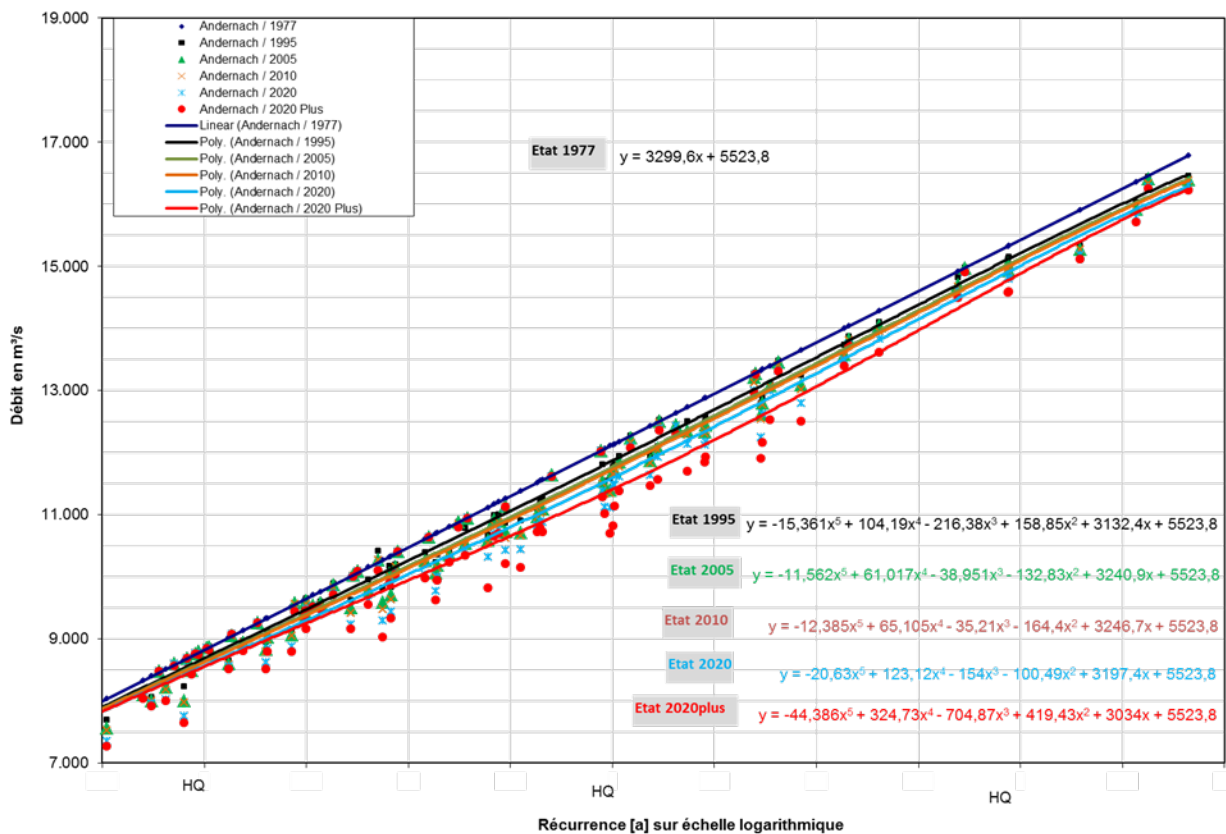
### Annexe 2b : graphique d'évaluation, échelle de Worms



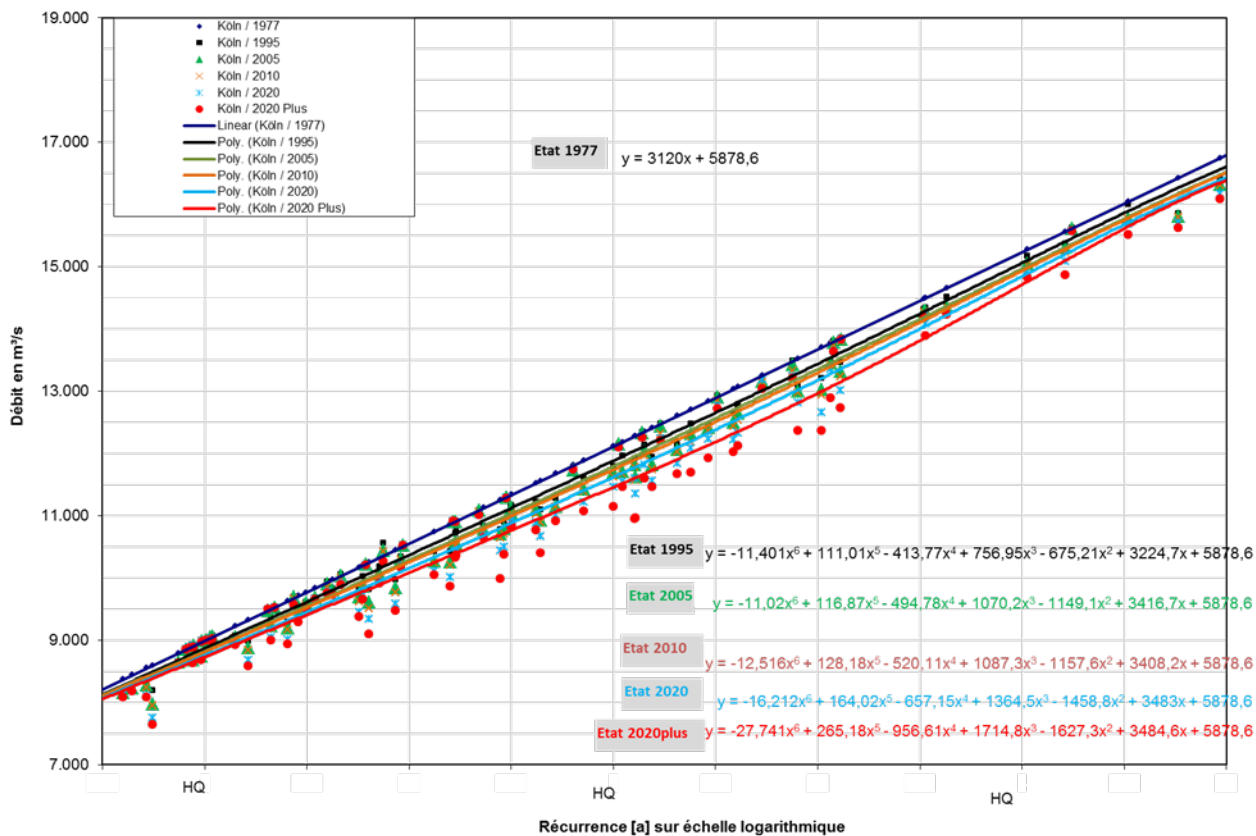
Annexe 2c : graphique d'évaluation, échelle de Mayence



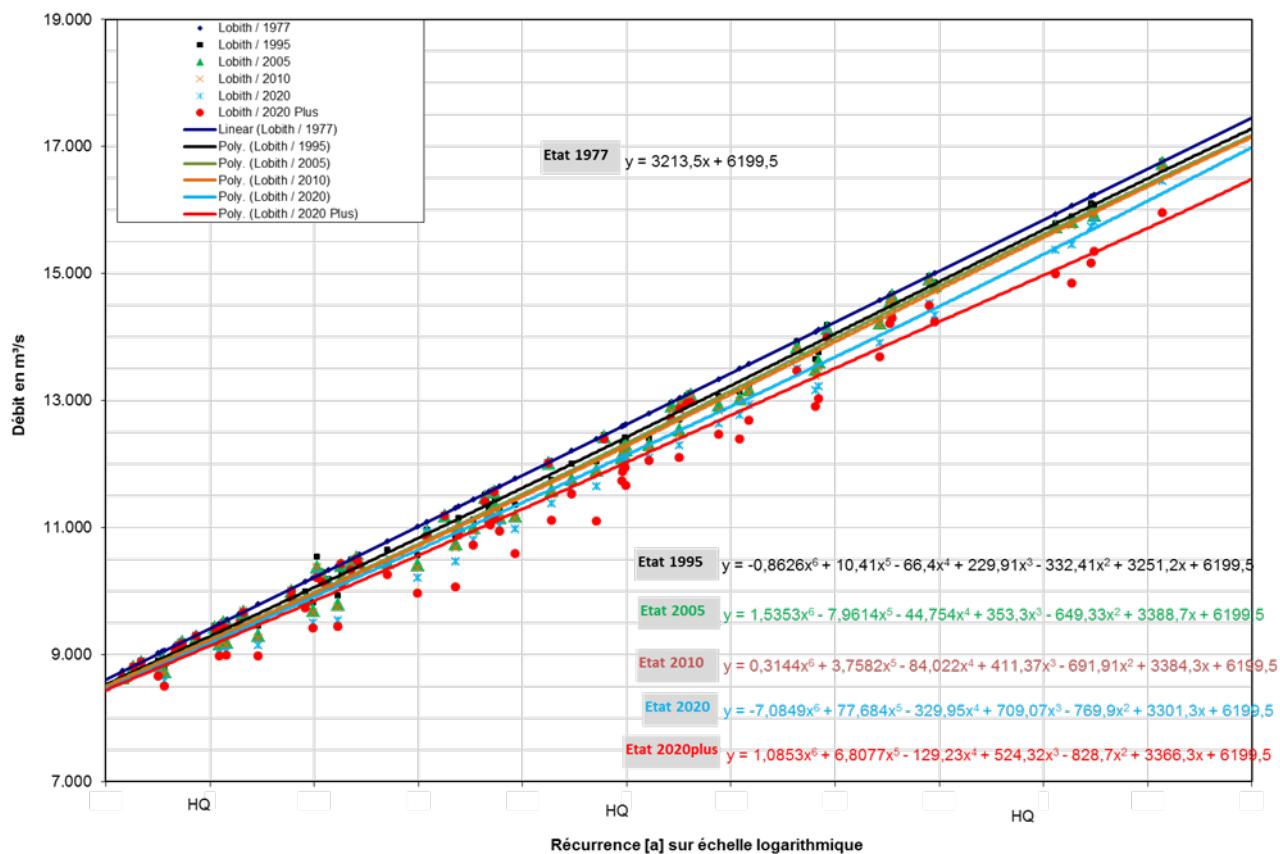
Annexe 2d : graphique d'évaluation, échelle de Kaub



Annexe 2e : graphique d'évaluation, échelle d'Andernach



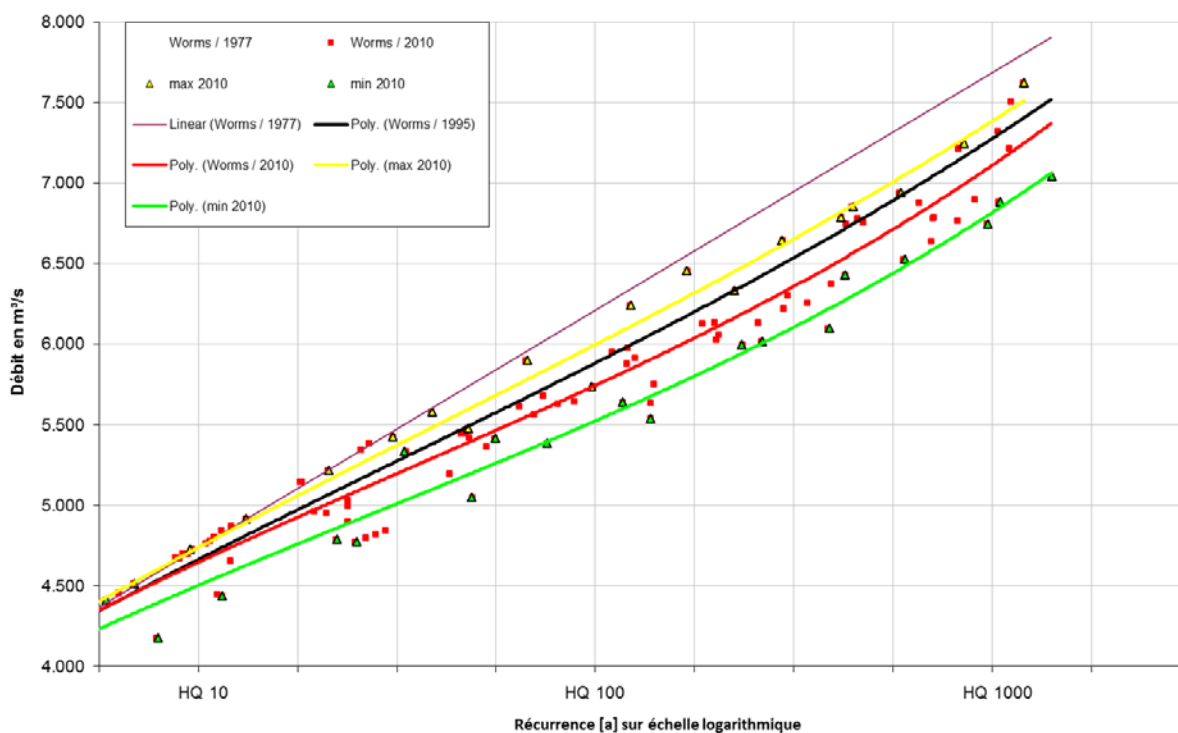
Annexe 2f : graphique d'évaluation, échelle de Cologne



Annexe 2g : graphique d'évaluation, échelle de Lobith

### Annexe 3 : rendu des marges d'incertitude à l'exemple de l'échelle de Worms, état 2010

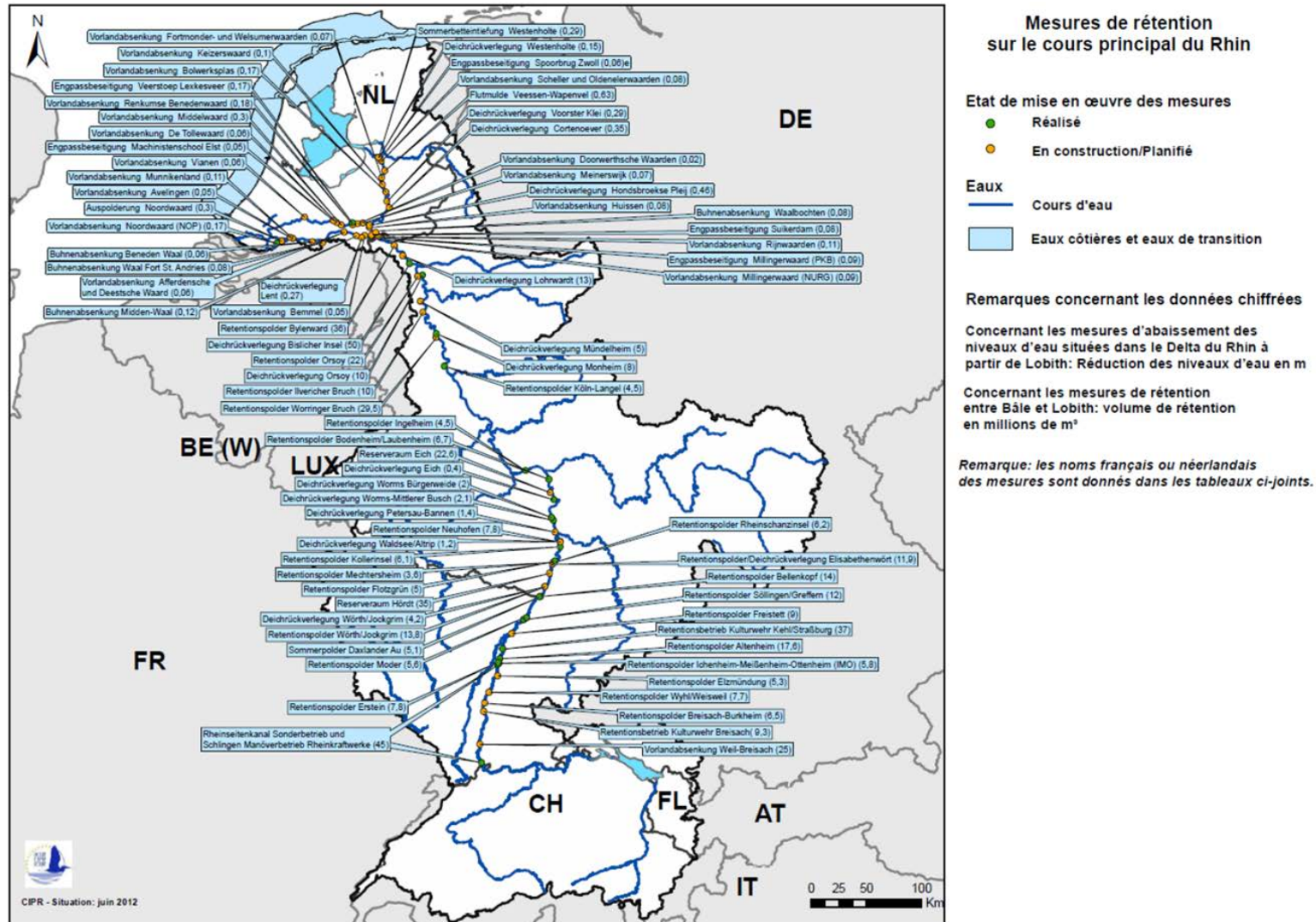
Une étape de travail supplémentaire sur les courbes de tendance a consisté à déterminer les enveloppes, ceci pour identifier la dispersion des différents résultats de calcul (paires de valeur constituées du débit de pointe et de la probabilité d'occurrence) autour des courbes de tendance : les catégories de probabilité ont été reportées sur l'axe des abscisses (échelle de valeurs de 0 (faible récurrence de 1) à 3 (forte récurrence de 1000)). Chaque pas de chiffre entier a été subdivisé en 8 classes. Ce travail a été fait à l'aide de la base de données ACCESS. Il en découle une subdivision en 25 classes (cluster) pour les récurrences logarithmiques (valeurs sur l'axe des abscisses) de 0 (faible récurrence) à env. 3 (récurrence supérieure à 1000). Les valeurs de débit min. et max. peuvent être déterminées pour chacune de ces classes. On peut définir chaque marge d'incertitude sous forme d'enveloppes à partir de ces écarts minimaux et maximaux. Ces écarts sont rendus à titre d'exemple dans la figure ci-dessous pour l'état 2010 (courbe rouge = courbe de tendance ; courbe jaune = courbe de régression résultant des écarts maximaux des 25 classes ; courbe verte = courbe de régression résultant des écarts minimaux des 25 classes).



Annexe 3 : rendu des marges d'incertitude déterminées à l'exemple de l'échelle de Worms, état 2010

Ces marges d'incertitudes n'ont pas été prises en compte de plus près dans les travaux du GE HVAL car le GE HIRI doit pouvoir disposer de modifications moyennes de récurrence pour la poursuite de ses analyses.

## Annexe 4 : Mesures de rétention des crues sur le cours principal du Rhin<sup>4</sup>



<sup>4</sup>La localisation précise des mesures et leur degré de réalisation en 2014 figurent dans l'Atlas du Rhin 2015 sur le site [www.iksr.org](http://www.iksr.org).

## Annexe 5 : vue générale des mesures de rétention entre Bâle et Lobith et des mesures de réduction des niveaux d'eau dans le delta du Rhin à partir de Lobith<sup>5</sup>

### Annexe 5a : mesures de rétention entre Bâle et Lobith avec indication des volumes correspondants (en millions de m<sup>3</sup>) (mise à jour : 2010)

PK du Rhin	Zone	Eta/ Land	Localisation de la mesure	Type de mesure	Volume opérationnel					
					[millions de m <sup>3</sup> ]					
					1977	1995	2005	2010	2020	2020plus
174 - 226 234 - 291	Rhin supérieur	F	Grand Canal d'Alsace et festons	Manœuvres exceptionnelles Usines du Rhin		45	45	45	45	45
174,6 - 219		D-BW	Weil-Breisach	Décaissement du lit majeur					2,8 <sup>2)</sup>	25
224,8		D-BW	Breisach	Régime de rétention du barrage agricole					9,3	9,3
228,4		D-BW	Breisach-Burkheim	Polder de rétention					6,5	6,5
243		D-BW	Wyhl-Weisweil	Polder de rétention						7,7
260,5		D-BW	Débouché de l'Elz	Polder de rétention					5,3	5,3
272		D-BW	Ichenheim-Meißenheim -Ottenheim (IMO)	Polder de rétention						5,8
276		F	Erstein	Polder de rétention			7,8	7,8	7,8	7,8
278,4		D-BW	Altenheim	Polder de rétention		17,6	17,6	17,6	17,6	17,6
290,3		D-BW	Kehl/Strasbourg	Régime de rétention du barrage agricole		37 <sup>1)</sup>	37	37	37	37
302		D-BW	Freistett	Polder de rétention						9
317,4		D-BW	Söllingen/Greffern	Polder de rétention			12	12	12	12
330		F	Moder	Polder de rétention		5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
354,9		D-BW	Bellenkopf	Polder de rétention						14
357,5		D-RP	Daxlander Au	polder d'été	5,1 <sup>3)</sup>	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1
368		D-RP	Wörth/Jockgrim	Mise en retrait de digues Polder de rétention					4,2 13,8	4,2 13,8
377		D-RP	Hördt	Espace de réserve						35
381,3		D-BW	Elisabethenwört	Polder de rétention / Mise en retrait de digues						11,9
390		D-RP	Mechtersheim	Polder de rétention					3,6	3,6
390,4		D-BW	Ile de Rheinschanz	Polder de rétention					6,2	6,2
392,6		D-RP	Flotzgrün	Polder de rétention			5	5	5	5
409,9		D-RP	Ile de Koller	Polder de rétention			6,1	6,1	6,1	6,1
411,5		D-RP	Waldsee/Altrip Neuhöfen	Mise en retrait de digues Polder de rétention					1,2 7,8	1,2 7,8
436		D-RP	Petersau-Bannen	Mise en retrait de digues					1,4	1,4
439		D-RP	Worms – Mittlerer Busch	Mise en retrait de digues				2,1	2,1	2,1
440,2		D-RP	Worms Bürgerweide	Mise en retrait de digues			2	2	2	2
467,3		D-RP	Eich	Mise en retrait de digues			0,4	0,4	0,4	0,4
468,5		D-RP	Eich	Espace de réserve						22,6
489,9		D-RP	Bodenheim/Laubenheim	Polder de rétention				6,7	6,7	6,7
517,3		D-RP	Ingelheim	Polder de rétention				4,5	4,5	4,5
668,5		D-NRW	Cologne-Langel	Polder de rétention				4,5	4,5	4,5
705,5		D-NRW	Worringer Bruch	Polder de rétention					29,5	29,5
707,5		D-NRW	Monheim	Mise en retrait de digues			8	8	8	8
750	D-NRW	Ilvericher Bruch	Polder de rétention						10	
760,5	D-NRW	Mündelheim	Mise en retrait de digues					5	5	
802	D-NRW	Orsoy	Mise en retrait de digues			10	10	10	10	
797,5	D-NRW	Orsoy	Polder de rétention					22	22	
818,5	D-NRW	Ile de Bislich	Mise en retrait de digues	50 <sup>3)</sup>	50	50	50	50	50	
832,5	D-NRW	Lohrwardt	Mise en retrait de digues					13	13	
850	D-NRW	Bylerward	Polder de rétention						36	
<b>Volume de rétention total des mesures sur le Rhin par état d'aménagement</b>					<b>55,1</b>	<b>160,3<sup>1)</sup></b>	<b>211,6</b>	<b>229,4</b>	<b>361</b>	<b>535,2</b>
<sup>1)</sup> barrage agricole de Kehl : volume opérationnel de 13 millions de m <sup>3</sup> en régime régulier jusqu'en 2002 et 24 millions de m <sup>3</sup> supplémentaires opérationnels en cas exceptionnel. <sup>2)</sup> 2,8 millions de m <sup>3</sup> = premier tronçon sur quatre au total. De plus, des parties des tronçons III et IV seront déjà achevées en 2020. <sup>3)</sup> La Daxlander Au et l'île de Bislich étaient déjà des zones inondées par les crues du Rhin avant l'achèvement mesures.										

<sup>5</sup> L'état de réalisation des mesures en 2014 peut être consulté dans le PGRI du DHI Rhin : <http://www.iksr.org/index.php?id=347&L=1>

**Annexe 5b : mesures de réduction des niveaux d'eau dans le delta du Rhin à partir de Lobith avec effet minimal d'abaissement du niveau d'eau attendu (en m) (version 2010)**

PK	Zone	Land	Localisation de la mesure	Type de mesure	Effet minimal d'abaissement de niveau d'eau attendu <sup>4)</sup> (par mesure) (en m)				
					1995	2005	2010	2020	2020plus
865	Bovenrijn/Waal/Merweddes	NL	Rijnwaarden	décaissement du lit majeur				0,11	0,11
871		NL	Millingerwaard (PKB)	élimination des goulets d'étranglement				0,09	0,09
871		NL	Millingerwaard (NURG)	décaissement du lit majeur					
871		NL	Suikerdam	élimination des goulets d'étranglement				0,08	0,08
878		NL	Bemmel	décaissement du lit majeur				0,05	0,05
882		NL	Lent	Mise en retrait de digues				0,27	0,27
897		NL	Afferdensche et Deestsche Waard	décaissement du lit majeur				0,06	0,06
867		NL	Waalbochten	Abaissement d'épis				0,08	0,08
887		NL	Midden-Waal	Abaissement d'épis				0,12	0,12
916		NL	Waal Fort St. Andries	Abaissement d'épis				0,08	0,08
934		NL	Beneden Waal	Abaissement d'épis				0,06	0,06
948		NL	Munnikenland	décaissement du lit majeur				0,11	0,11
955		NL	Avelingen	décaissement du lit majeur				0,05	0,05
964		NL	Noordwaard	dépoldérisation				0,3	0,3
968		NL	Noordwaard (NOP)	décaissement du lit majeur			0,17	0,17	0,17
871		Pannerdensch Kanaal, Nederrijn, Lek	NL	Huissen	décaissement du lit majeur				0,08
883	NL		Meinerswijk	décaissement du lit majeur				0,07	0,07
893	NL		Doorwerthsche Waarden	décaissement du lit majeur				0,02	0,02
898	NL		Renkumse Benedenwaard	décaissement du lit majeur				0,18	0,18
898	NL		Veerstoep Lexkesveer	élimination des goulets d'étranglement			0,17		
908	NL		Middelwaard	décaissement du lit majeur				0,03	0,03
911	NL		De Tollewaard	décaissement du lit majeur				0,06	0,06
917	NL		Machinistenschool Elst	élimination des goulets d'étranglement				0,05	0,05
946	NL		Vianen	décaissement du lit majeur				0,06	0,06
878	IJssel	NL	Hondsbroekse Pleij	Mise en retrait de digues				0,46	0,46
918		NL	Cortenoever	Mise en retrait de digues				0,35	0,35
930		NL	Voorster Klei	Mise en retrait de digues				0,29	0,29
943		NL	Bolwerksplas	décaissement du lit majeur				0,17	0,17
947		NL	Keizerswaard	décaissement du lit majeur				0,1	0,1
957		NL	Fortmonder- et Welsumerwaarden	décaissement du lit majeur				0,06 - 0,08	0,06 - 0,08
961		NL	Veessen-Wapenveld	Rigole d'évacuation des crues				0,63	0,63
977		NL	Scheller et Oldenelerwaarden	décaissement du lit majeur				0,08	0,08
978		NL	Pont ferroviaire de Zwolle	élimination des goulets d'étranglement				0,06	0,06
980		NL	Westenholte	Mise en retrait de digues				0,15	0,15
980		NL	Westenholte	creusement du lit mineur				0,29	0,29

<sup>4)</sup> Ces mesures visent principalement à rehausser la capacité d'écoulement dans le delta du Rhin. Il n'est donc indiqué que l'effet minimal d'abaissement du niveau d'eau par mesure. Ceci explique pourquoi les mesures ne sont pas prises en compte dans le volume total de rétention.

PKB = Planologische Kernbeslissing (décision nationale d'aménagement du territoire)

NURG = Nadere Uitwerking Rivierengebied (développement plus détaillé de l'espace fluvial)

NOP = Natuurontwikkelingsproject (projet de développement du milieu naturel)



Annexe 6 : description de l'outil HIRI permettant d'identifier l'impact des mesures sur la réduction du risque d'inondation (poster en anglais)



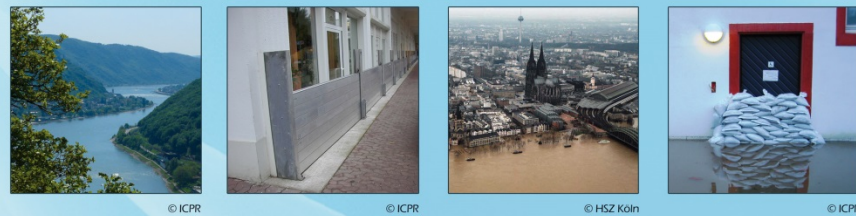
# Instrument for the assessment of the effects of measures on flood risk



## The context

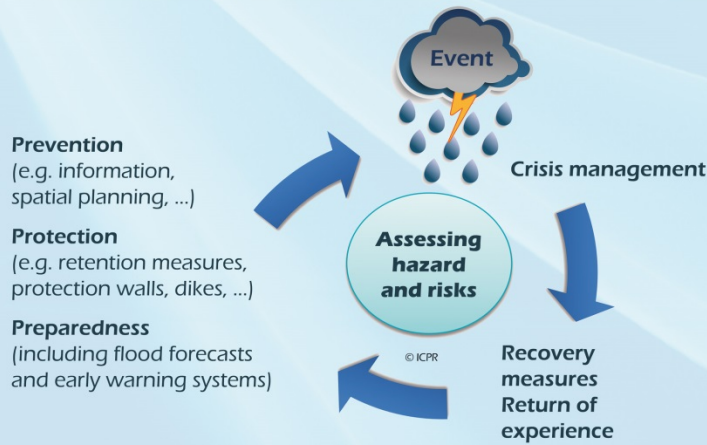
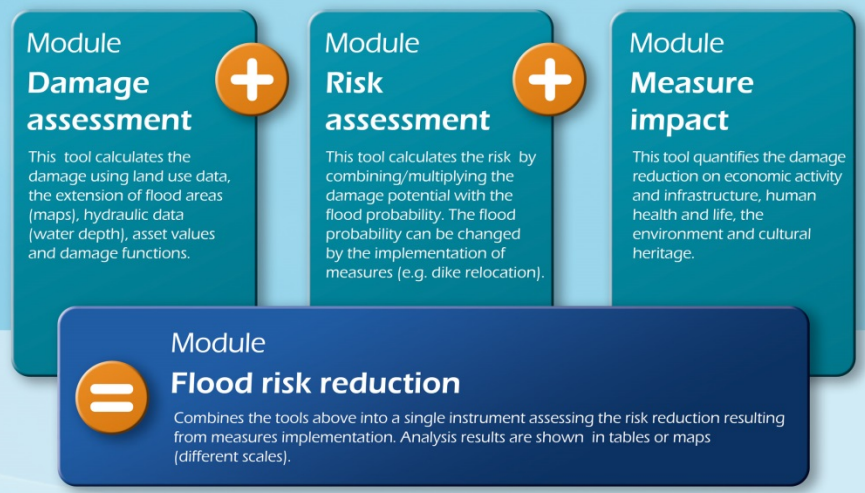
Reacting on the extreme floods in the Rhine in 1993 and 1995, the 12th Conference of Rhine Ministers on 22 January 1998 in Rotterdam adopted the "ICPR Action Plan on Floods" for the Rhine. One of the aims of this Action Plan is to reduce flood risk in 2020 by 25% compared to 1995. In 2007 the ICPR was charged with supporting the implementation of the European Floods Directive (FD).

The ICPR, supported by HKV, developed an instrument aimed at evaluating the effect of measures to reduce flood risk and estimating the evolution of flood risk (taking into account the impacts of different measures). The instrument, which is working in a consistent, reproducible and transparent manner, is available on demand at the ICPR and is applicable to other river basins.



## The instrument

The instrument is GIS-based and covers the main stream of the Rhine. Flood maps developed under the FD, are the basis for the tool. In addition to the quantification of economic flood risk, modules are developed for quantifying the consequences of risk for human health, to the environment and to cultural heritage. This innovative and flexible instrument can be used to generate information about the effects and effectiveness of flood risk management measures on the reduction of flood risk at a river basin and/or tributary level, e.g. by assessing every 6 years the impacts of actions taken under flood risk management plans. In short, the main instrument consists of three interacting calculation modules (Model Builders) resulting in an overall flood risk reduction assessment:



In addition the instrument enables the challenging conversion of the effect of measures into an effect on flood risk. Flood risk is defined as the product of the flood risk probability and the consequences of floods (with corresponding damages). It can be reduced by lowering the flood probability and/or the potential damage. The flood probability can be altered by e.g. the retention measures available in the Flood Action Plan, which often reduce flood water levels.

A reduction of potential damage can be achieved by spatial planning, adapted building, flood forecasting and warning as well as crisis management. The whole cycle of flood risk management (prevention, protection, preparedness, crisis management and recovery measures) is considered in the instrument (see scheme to the left).

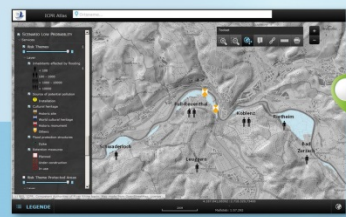


Fig.4: Flood risk map (Draft ICPR Atlas 2014)

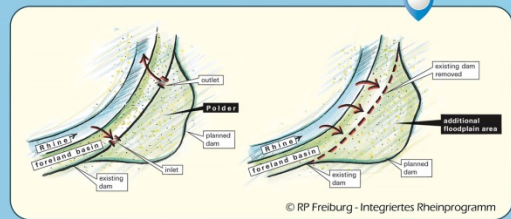


Fig.3: Example of (retention) measures: retention basin (polder; 1) and dike relocation (r.)

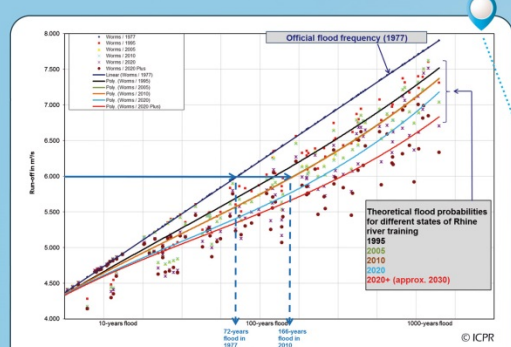


Fig.2: Example of changes in probability (ICPR methodology)

After analysing the effects of realized and planned retention measures on water level reduction the ICPR developed a specific theoretical method to evaluate the changes of flood probabilities/frequencies resulting from these retention measures. The results of this evaluation are integrated in the tool as one element to assess the evolution of damages.

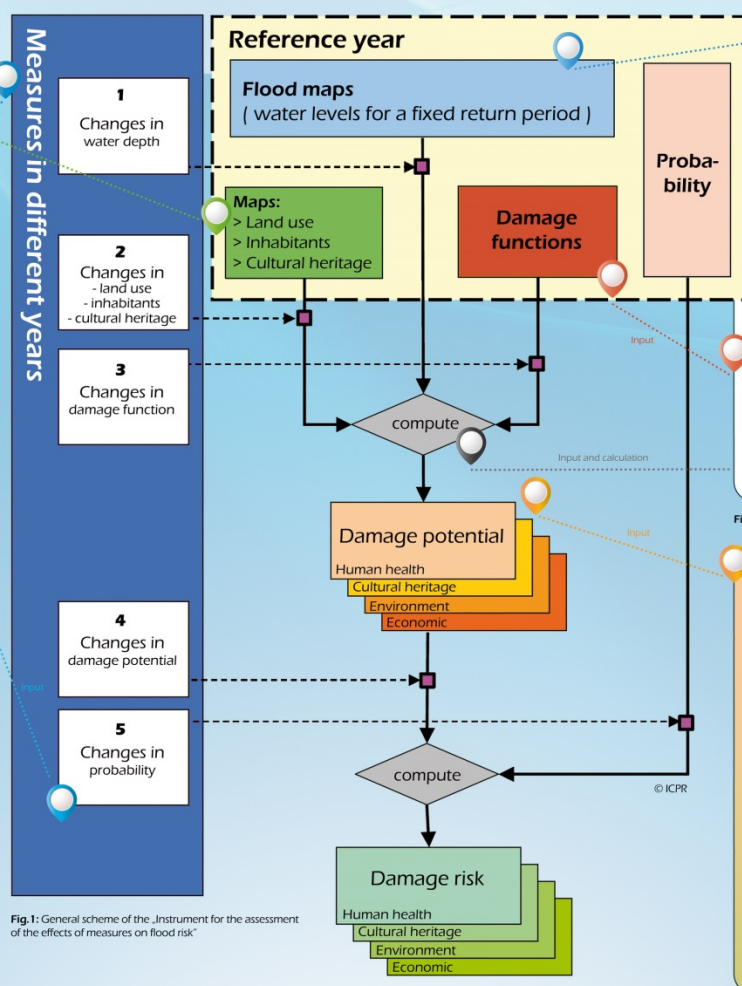


Fig.1: General scheme of the instrument for the assessment of the effects of measures on flood risk

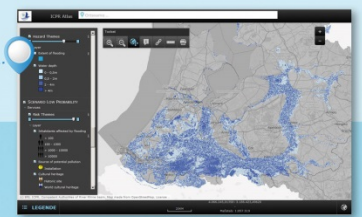


Fig.5: Flood hazard map (Draft ICPR Atlas 2014)

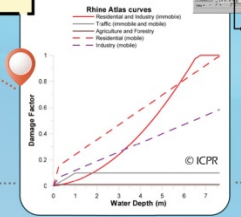


Fig.6: Damage functions (ICPR Atlas 2001)

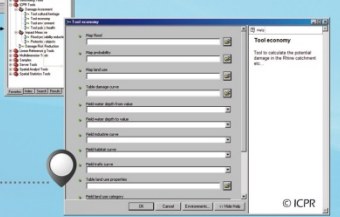


Fig.7: Excerpt from the tool running under ArcGIS (ArcToolbox) and the different input data before calculation.

Following innovative methods are used to assess risk for 4 types of protection objectives:

**Human health:** In a first step, the affected population is determined for each flood scenario, separated for different water depth classes. In a second step, a "security fraction" per region is used to visualize the population no longer in danger (e.g. due to evacuation).

**Economic activity:** The economic damage potential is calculated by combining land use maps (e.g. Corine Land Cover maps for different periods) with stage-damage curves and asset values (e.g. both from the ICPR Rhine Atlas 2001) for the categories settlement, industry, traffic, agricultural use and forest. Asset values can be adapted to the actual situation e.g. by using the price increase index.

**Environment:** To assess environmental risks or damages, the method used in the instrument identifies the impact of potential pollution arising from installations affected by floods (IPPC, SEVESO and water treatment plants) on different areas designated for drinking water production and for Natura 2000 (flora-fauna habitat and bird protection).

**Cultural heritage:** Cultural damage can be quantitatively estimated by combining cultural vulnerability (depending on different types of cultural heritage: UNESCO World Heritage, historic sites, historic monuments) and water depths.