



Internationale Kommission zum Schutz des Rheins
Commission Internationale pour la Protection du Rhin
Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn

**Recommandation sur les instruments d'identification
de l'efficacité des mesures de la réduction des niveaux
de crue extrêmes**

70^{ème} Assemblée plénière – 8 et 9 juillet 2004 - Berne

1. Profil d'aptitude auquel doit satisfaire le modèle global

L'instrument d'identification de la réduction des niveaux de crue, qui doit être géré de manière centralisée, doit se composer d'un modèle d'écoulement des ondes de crue pour le Rhin et ses principaux affluents.

La plupart des modèles connus sont équivalents, que les calculs présentant tous en principe la même précision. Il est cependant très important de s'assurer qu'ils puissent fonctionner à tout moment. Ce n'est possible que si les modèles sont gérés en continu et si l'on dispose sur une période relativement longue d'experts sachant se servir de ce modèle.

Le modèle global (modèle 'épine dorsale') doit en principe pouvoir simuler les mesures figurant dans le Plan d'action contre les inondations sur le Rhin conformément à la 2^{ème} catégorie de mesures (tableau à la page 16 du Plan d'action contre les inondations). Le modèle global peut se composer de modèles partiels et doit couvrir le cours du Rhin de Bâle jusqu'à l'embouchure en mer du Nord.

Le modèle global doit être doté de suffisamment de points (nœuds) de connexion avec les modèles régionaux (qui restent indispensables pour les questions de détail).

2. Modèle global satisfaisant à ce profil d'aptitude

Les éléments constitutifs de modélisation répondant à ce profil d'aptitude sont disponibles. Pour les différents tronçons du Rhin, ces éléments sont les suivants :

- le Rhin de Bâle à Worms : le modèle SYNHP qui constitue l'outil officiel permettant de fixer les règles des manœuvres de rétention sur le Rhin supérieur. Le modèle est géré par le LfU de Bade-Wurtemberg. Il existe également des modèles pour les principaux affluents entre Bâle et Worms.
- le Rhin de Worms à la mer du Nord : le modèle SOBEK perfectionné par la BfG, entre autres dans le cadre du projet européen LAHoR. Il est étroitement relié aux groupes de modèles utilisés en Rhénanie-du-Nord-Westphalie et aux Pays-Bas. Pour les principaux affluents du Rhin en aval de Worms, des modèles sont également disponibles. Pour le tronçon du Rhin allant de Lobith à la mer du Nord, RIZA dispose d'un module SOBEK. Dans le cadre des études de la CIPR, le modèle SOBEK doit être géré et exploité par la BfG.

Les modèles susmentionnés peuvent être combinés à tout moment ; des calculs ont prouvé que le modèle fonctionnait bien. Tous les modules du programme ont été calibrés et testés dans le cadre d'applications robustes.

On n'a pas examiné d'autres systèmes, les moyens à mettre en œuvre pour trouver d'autres modèles, les calibrer et faire en sorte qu'ils puissent être utilisés à tout moment étant trop importants et n'étant donc pas considérés comme justifiés.

3. Recommandation relative au fonctionnement du modèle global

Le modèle global connecté se compose des deux sous-modèles mentionnés plus hauts. Les services nommés ci-après sont proposés pour la gestion et l'exploitation des sous-modèles :

- LfU du Bade-Wurtemberg : modèle SYNHP pour le Rhin de Bâle à Worms, y compris les principaux affluents.
- BfG : modèle SOBEK pour le Rhin de Worms à la mer du Nord, y compris les principaux affluents.

Au noeud de Worms, les résultats des calculs du LfU seront communiqués à la BfG pour que celle-ci puisse les exploiter pour ses propres calculs.

La BfG doit présenter à la CIPR sous forme de synopsis les résultats de l'analyse d'efficacité pour le Plan d'action contre les inondations. Il conviendra à ce propos de tenir compte de toutes les données partielles éventuellement fournies au niveau des points de connexion (nœuds) pour le modèle 'épine dorsale', de même que pour les tronçons partiels du Rhin.

Pour la fourniture des données, on fixe la liste des nœuds des affluents figurant en annexe 2. Chaque point de contact doit déterminer sous sa propre responsabilité les données requises pour son propre nœud.

Les points de contact doivent fournir à la BfG les données suivantes :

- les crues extrêmes déterminantes pour leur propre nœud, étant entendu qu'il ne faut pas indiquer les récurrences mais les quantités d'eau
- les impacts des mesures significatives mentionnées dans le Plan d'action contre les inondations, réalisées depuis 1995 et prévues jusqu'en 2005
- lors de l'indication des impacts des mesures, il faut tenir compte du fait que les nombreuses mesures ne s'additionnent pas de manière linéaire, mais que leurs impacts sont souvent réciproques
- les résultats doivent être mis à disposition sous forme d'hydrogrammes (avec et sans mesures).

Pour pouvoir répondre, pour le compte de la CIPR, aux questions sur l'efficacité des mesures mises en œuvre, il est nécessaire de pouvoir procéder à une simulation rapide dans un délai de 7 à 10 jours (« dans un délai restreint de quelques jours » ; décision du GT H) d'une onde de crue écoulée en supposant qu'aucune mesure n'ait été réalisée. Cette simulation rapide ne peut être garantie que si les données partielles requises sont fournies rapidement aux exploitants du modèle et transmises ensuite par ces derniers. La précision élevée des données partielles est de moindre priorité.

Pour cette raison, les points de contact doivent, en plus des données susmentionnées, fournir les hydrogrammes de l'onde de crue écoulée dans un délai restreint de quelques jours en supposant qu'aucune mesure n'ait été réalisée.

4. Fixation des types de crue à considérer et des valeurs seuils pour les crues extrêmes

Les ordinateurs étant aujourd'hui beaucoup plus performants que ceux utilisés il y a quelques années encore, il est en principe possible d'utiliser pour les calculs toutes les ondes de crue historiques documentées. Eu égard à la capacité des ordinateurs, il n'est donc plus nécessaire aujourd'hui de fixer de types de crues.

On fixe les types de crues à considérer suivants :

- collectifs de crues mis au point pour répondre aux calculs de niveaux théoriques par rapport à un tronçon spécifique
- crues sélectionnées dans le cadre de l'étude d'efficacité

Les valeurs seuils doivent être indiquées par les points de contact responsables des différents nœuds. Dans certains cas (par ex. lorsque des valeurs seuils particulièrement élevées sont requises), il peut être judicieux d'utiliser un générateur de précipitations pour simuler les ondes (annexe 4). Cette méthode se prête également à la réalisation de contrôles de plausibilité sur des crues modélisées extrêmes générées d'une autre manière.

Annexe 1**Les modèles d'écoulement d'ondes de crues SYNHP et SOBEK****1. Introduction**

Le modèle d'écoulement d'ondes de crues SOBEK est utilisé au sein de la BfG et du RIZA pour étudier l'impact à grande échelle de mesures d'aménagement et de rétention sur l'écoulement des crues pour le Rhin en aval de Worms et pour ses principaux affluents. Des modèles ont été soit créés (267 km sur le Rhin supérieur et le Rhin moyen, 252 km sur le Main, 51 km sur la Moselle) soit profondément remaniés (229 km sur le Rhin moyen et le Rhin inférieur) pour les tronçons indiqués ci-après.

En vertu de la décision du Comité Technique de la Commission Permanente (pour l'aménagement du Rhin supérieur), le modèle d'écoulement d'ondes de crues SYNHP pour le Rhin de Bâle à Worms est l'outil officiel permettant de fixer les règles des manœuvres de rétention sur le Rhin supérieur. Il peut représenter les impacts de mesures actuelles et futures sur le débit du Rhin supérieur. Il est géré et exploité par la LfU du Bade-Wurtemberg, le LfW de Rhénanie-Palatinat et l'HLUG de Hesse pour répondre aux questions soumises par la Commission Permanente ainsi qu'à celles soumises par la CIPR, pour laquelle il fait fonction d'instrument d'identification pour le tronçon du Rhin compris entre Bâle et Worms.

2. Modèle de cascades de stockage SYNHP

Le modèle d'écoulement des crues synoptique SYNHP appartient à la famille des modèles hydrologiques dont la méthode de calcul se fonde sur l'équation de continuité et de mouvement. SYNHP part d'un modèle de la BfG développé au début des années 80 dans la Landesanstalt für Umweltschutz (LfU = office de la protection de l'environnement) du Land de Bade-Wurtemberg pour simuler des situations de crue sur le Rhin supérieur. L'équation de mouvement est remplacée ici par l'approche dite « de stockages individuels linéaires », les stockages correspondant à des tronçons fluviaux spécifiques. SYNHP calcule par intervalles de temps (de manière synoptique) le débit de tronçons fluviaux quelconques.

Pour le calibrage du modèle, on détermine un rapport volume-débit pour chaque ouvrage de stockage. A partir des débits entrants donnés, de l'équation de continuité et du rapport volume-débit, on peut alors calculer le débit sortant de chaque ouvrage de stockage ou tronçon fluvial. Dans le tronçon le plus en amont, on fixe un hydrogramme de débit entrant (par ex. des données mesurées). Les débits entrants dans les différents tronçons aval résultent dans chacun des cas du débit calculé à la fin de chaque tronçon situé en amont immédiat. Les débits entrants des affluents sont introduits dans le modèle sous forme d'hydrogrammes (par ex. des données mesurées). En plus d'une translation d'ondes d'écoulement et de leur déformation sous l'effet de géométries hydrologiques variables, le modèle permet de calculer les processus de rétention manoeuvrables et non manoeuvrables dans le fleuve et dans des polders.

Le modèle SYNHP est utilisé par la « Commission permanente du Rhin supérieur » sur le tronçon du Rhin compris entre Bâle et Worms comme outil officiel permettant de déterminer des règlements de manœuvre pour les mesures de rétention dans le Rhin supérieur. Grâce à lui, il est possible de calculer différents scénarios de rétention. Le modèle s'applique au Rhin supérieur après aménagement des barrages. Le modèle SYNHP est utilisé en outre pour l'étude des changements résultant des mesures d'aménagement sur le régime d'écoulement des crues dans la zone comprise entre Bâle, Maxau et Worms. Il est ainsi possible de prendre en compte les mesures de rétention

actuelles et celles qui sont planifiées ou envisagées dans le futur. Si une onde existante dépasse les conditions limites de « capacité de rétention du Rhin entre les digues », le modèle permet de limiter le débit. Par ailleurs, il a été mis au point au cours des 15 dernières années plusieurs modèles SYNHP pour le Rhin supérieur avant aménagement des barrages ainsi que pour la Moselle, la Sarre et le Main.

Auprès du LfU du Bade-Wurtemberg, le modèle SYNHP couvrant le tronçon compris entre Bâle et Worms peut être exploité en corrélation avec les modèles de gestion du régime des eaux mis au point par le Bade-Wurtemberg pour tous les affluents bade-wurtembergeois du Rhin supérieur. Il peut également être utilisé, sur la base d'une méthode simplifiée, pour la prise en compte des affluents alsaciens.

3. Modèle hydrodynamique SOBEK

A l'aide du modèle de débit hydrodynamique unidimensionnel SOBEK, il est possible de déterminer les débits, les niveaux d'eau et les vitesses d'écoulement. Le modèle peut calculer en outre les processus d'intrusions salines, la qualité de l'eau et le transport sédimentaire également dans les zones soumises à l'influence des marées. Les mesures d'aménagement destinées à la protection contre les inondations sont prises en compte par le biais d'un module de rétention. A cet effet, on procède au calcul des modifications non stationnaires de l'événement de crue, par exemple celles se produisant pendant le remplissage d'un polder de rétention. Un modèle appliqué aux eaux souterraines, qui tient compte des processus d'échange entre eaux fluviales et eaux souterraines, est également disponible.

SOBEK a été mis au point par Delft Hydraulics et par les services de gestion intégrale des eaux intérieures et des eaux usées (RIZA) aux Pays-Bas. Les calculs de flux de SOBEK se fondent sur les équations de Saint-Venant. L'équation différentielle générale de la ligne d'eau contient à la fois l'équation de continuité et l'équation de mouvement avec prise en compte en partie optionnelle de la convection, de l'inclinaison de la ligne d'eau, de la densité et des pertes d'énergie, dues à la rugosité du lit, des impacts du vent et d'autres facteurs d'influence limités au niveau local. Le système d'équation est résolu sous forme numérique selon la méthode Preissmann-Box (méthode différentielle spécifique). Ici, les valeurs à calculer sont respectivement obtenues à partir des valeurs des nœuds voisins de l'étape de calcul précédente. La discrétisation temporelle s'obtient par le biais de méthodes implicites.

La géométrie d'un cours d'eau est définie dans le modèle SOBEK par une série de profils transversaux successifs. A cette fin, le lit est subdivisé en lit principal et en espaces inondables, ceci permettant de prendre en compte les champs d'épîs et le lit majeur avec digues d'été et polders. Les affluents du bassin versant en amont du tronçon modélisé et de tributaires du Rhin sont ajoutés sous forme d'hydrogrammes dans la marge supérieure et latérale du modèle. A l'aide de multiples modules de calcul d'impact des barrages, écluses, pompes etc., il est possible de simuler l'effet de retenues manoeuvrées et non manoeuvrées du type de celles que l'on trouve autant en Allemagne qu'aux Pays-Bas.

Avec la version SOBEK la plus récente, on dispose de modules de calcul de mesures de rétention manoeuvrées et non manoeuvrées. Les principaux paramètres d'entrée sont le volume de rétention, la hauteur moyenne du fond de l'espace de rétention, la taille des ouvrages de prise d'eau et de vidange (hauteur et longueur de seuil, hauteur des ouvertures (des vannes) et enfin la localisation sur le cours d'eau. Pour manoeuvrer le remplissage et la vidange de ces espaces de rétention, on peut indiquer soi-même des niveaux d'eau et des débits dans le fleuve et dans l'espace de rétention, à partir desquels les ouvrages sont à ouvrir ou à fermer. Pour la mise en place, le long du fleuve, d'un espace de rétention au travers de mesures modifiant en partie le profil transversal (par

ex. une mise en retrait de digues), les profils transversaux du modèle doivent être modifiés.

Pour modéliser des ondes de crue, le modèle d'écoulement utilisé sur le Rhin inférieur a été accouplé à un modèle 'eaux souterraines' simple et fondé sur des lois physiques, ce dernier calculant préalablement les processus d'échange entre eaux souterraines et eaux fluviales. En se fondant sur la loi de Darcy et en respectant les conditions de continuité régissant le volume d'eau stocké par la nappe souterraine, on calcule pour chaque tronçon fluvial l'échange entre eaux fluviales et eaux souterraines, ainsi que les niveaux des eaux souterraines. Sont également intégrés comme paramètres de modélisation, conformément à la géologie du Rhin inférieur, les coefficients d'infiltration, les taux de porosité réelle de l'aquifère et la largeur de l'aquifère associé au processus d'échange le long du fleuve.

De plus, SOBEK intègre le modèle de qualité des eaux DELWAQ, qui repose sur des calculs hydrauliques et peut être utilisé de manière optionnelle.

Annexe 2

Numéro du noeud	Cours d'eau	Cours d'eau – PK [km]	Nom du noeud	Point de contact
Rhin				
1	Rhin	148,3	Rheinfelden	BWG
2	Rhin	165,1	Echelle Bâle	BWG
3	Rhin	169,2	Wiese	LfU, Karlsruhe
4	Rhin	253,6	Leopoldskanal	LfU, Karlsruhe
5	Rhin	284,0	Ill-Entlastung	SNS
6	Rhin	298,2	Kinzig	LfU, Karlsruhe
7	Rhin	311,3	Ill	SNS
8	Rhin	316,0	Acher + Rench	LfU, Karlsruhe
9	Rhin	334,5	Moder	SNS
10	Rhin	344,5	Murg	LfU, Karlsruhe
11	Rhin	345,8	Sauer	SNS
12	Rhin	371,2	Alb	LfU, Karlsruhe
13	Rhin	380,7	Pfinz	LfU, Karlsruhe
14	Rhin	384,8	Queich	LfW, Mainz
15	Rhin	400,2	Speyerbach	LfW, Mainz
16	Rhin	428,2	Neckar	LfU Karlsruhe BfG
17	Rhin	454,5	Weschnitz	HLUG, Wiesbaden
18	Rhin	473,5	Modau	HLUG, Wiesbaden
19	Rhin	496,6	Main	BfG
20	Rhin	518,8	Selz	BfG
21	Rhin	529,1	Nahe	BfG
22	Rhin	540,3	Wisper	HLUG, Wiesbaden
23	Rhin	585,7	Lahn	LfW, Mainz
24	Rhin	592,3	Moselle	LfW, Mainz
25	Rhin	599,9	Saynbach	LfW, Mainz
26	Rhin	608,7	Nette	LfW, Mainz
27	Rhin	610,2	Wied	LfW, Mainz
28	Rhin	629,5	Ahr	LfW, Mainz
29	Rhin	659,4	Sieg	LUA, Düsseldorf
30	Rhin	703,3	Wupper	LUA, Düsseldorf
31	Rhin	736,6	Erft	LUA, Düsseldorf
32	Rhin	780,1	Ruhr	LUA, Düsseldorf
33	Rhin	797,8	Emscher	LUA, Düsseldorf
34	Rhin	814,5	Lippe	LUA, Düsseldorf
Neckar				
35	Neckar	202,6	Echelle Plochingen	LfU, Karlsruhe
36	Neckar	197,8	Körsch	LfU, Karlsruhe
37	Neckar	170,5	Rems	LfU, Karlsruhe
38	Neckar	156,5	Murr	LfU, Karlsruhe
39	Neckar	136,7	Enz	LfU, Karlsruhe
40	Neckar	110,3	Zaber	LfU, Karlsruhe
41	Neckar	124,5	Lein	LfU, Karlsruhe
42	Neckar	110,3	Sulm	LfU, Karlsruhe

43	Neckar	106,6	Kocher	LfU, Karlsruhe
44	Neckar	103,0	Jagst	LfU, Karlsruhe
45	Neckar	81,2	Elz	LfU, Karlsruhe
46	Neckar	56,9	Itter	LfU, Karlsruhe
47	Neckar	34,2	Elsenz	LfU, Karlsruhe
Main				
48	Main	378,4	Echelle Trunstadt	LfW, München
49	Main	354,4	Nassach	LfW, München
50	Main	299,1	Schwarzach	LfW, München
51	Main	215,6	Wern	LfW, München
52	Main	211,1	Fränk. Saale	LfW, München
53	Main	198,2	Lohr	LfW, München
54	Main	182,3	Hafenlohr	LfW, München
55	Main	165,5	Aalbach	LfW, München
56	Main	156,6	Tauber	LfU, Karlsruhe
57	Main	125,9	Erf	LfW, München
58	Main	105,7	Mümling	LfW, München
59	Main	95,7	Sulzbach	LfW, München
60	Main	83,2	Aschaff	LfW, München
61	Main	77,2	Gersprenz	LfW, München
62	Main	66,8	Kahl	LfW, München
63	Main	55,5	Kinzig	HLUG, Wiesbaden
64	Main	49,9	Rodau	HLUG, Wiesbaden
65	Main	24,9	Nidda	HLUG, Wiesbaden
66	Main	18,5	Schwarzbach	HLUG, Wiesbaden
67	Main	8,1	Wickerbach	HLUG, Wiesbaden
Lahn				
68	Lahn	-3,2	Echelle Gießen- Klärwerk	WSA Koblenz
69	Lahn	0,1	Kleebach	HLUG, Wiesbaden
70	Lahn	13,0	Dill	HLUG, Wiesbaden
71	Lahn	42,3	Weil	HLUG, Wiesbaden
72	Lahn	73,8	Emsbach	HLUG, Wiesbaden
73	Lahn	78,0	Elbbach	HLUG, Wiesbaden
74	Lahn	84,1	Aar	LfW, Mainz
75	Lahn	111,1	Gelbach	LfW, Mainz
76	Lahn	171,9	Mühlbach	LfW, Mainz
Moselle				
77	Moselle	241,9	Echelle Perl	BfG
78	Moselle	206,1	Sauer	LfW, Mainz
79	Moselle	200,8	Sarre	BfG
80	Moselle	183,6	Kyll	LfW, Mainz
81	Moselle	162,5	Salm	LfW, Mainz

82	Moselle	133,8	Lieser	LfW, Mainz
Sarre				
83	Sarre	91,6	Echelle Saarbrücken – St. Arnual	BfG
84	Sarre	77,2	Köllerbach	LfU, Saarbrücken
85	Sarre	74,3	Rossel	LfU, Saarbrücken
86	Sarre	70,2	Bist	LfU, Saarbrücken
87	Sarre	58,3	Prims	LfU, Saarbrücken
88	Sarre	50,6	Nied	LfU, Saarbrücken
89	Sarre	11,8	Leukbach	LfW, Mainz

Légende:

LfW:	Landesamt für Wasserwirtschaft Mainz (Rhénanie-Palatinat) (D)
	Landesamt für Wasserwirtschaft München (Bavière) D
HLUG:	Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (D)
LfU:	Landesamt für Umweltschutz Karlsruhe (Bade-Wurtemberg) (D)
	Landesamt für Umweltschutz Saarbrücken (Sarre) (D)
LUA:	Landesumweltamt Rhénanie-du-Nord-Westphalie (D)
WSA:	Wasser- und Schifffahrtsamt (D)
SNS:	Service de la Navigation de Strasbourg (F)
BWG:	Bundesamt für Wasser und Geologie (CH)

Observation: Si les hydrogrammes n'existent pas ou ne peuvent pas être mis rapidement à disposition, on utilise dans les modèles les débits cumulatifs des sous-bassins (situés entre deux nœuds). En cas d'échelles non considérées dans la liste des nœuds, le débit du sous-bassin est intégré dès lors que des hydrogrammes correspondants sont mis à disposition.

Annexe 3

Un générateur de précipitations stochastique

-Exposé de la méthode-

Une nouvelle méthode a été mise au point (Parmet et al., 1999) pour la détermination physique de débits théoriques. La mise au point de cette méthode a été coordonnée par le RIZA et s'est faite en coopération avec le KNMI et la Bundesanstalt für Gewässerkunde. Le premier élément de cette méthode est un générateur météorologique stochastique à plusieurs variables qui génère de longues séries simultanées de précipitations et de températures pour le bassin du Rhin.

Le principe à la base est le « Nearest-Neighbour Resampling » (méthode des plus proches voisins): Les jours historiques avec les valeurs mesurées pour les précipitations et les températures sont replacés dans un autre ordre chronologique, étant entendu que de tels jours ne peuvent suivre un jour historique choisi que s'ils sont suivis d'un tel jour dans la série historique. Un jour historique peut revenir à plusieurs reprises, de sorte que l'on peut générer une série pratiquement infinie.

Concrètement, on procède à plusieurs reprises aux démarches suivantes :

1. On recherche un nombre déterminé de jours qui ressemblent au dernier jour simulé (ou à la valeur initiale) ("*nearest neighbours*").

Les critères de similitude sont les suivants:

- Moyenne arithmétique de la température de 34 stations (deux stations de montage en Suisse ont été laissées de côté)
- Moyenne arithmétique des précipitations dans 34 stations
- Pourcentage des 34 stations avec des précipitations $\geq 0.1\text{mm}$ (pour faire la différence entre les précipitations générales et les précipitations plus locales)

La recherche de jours similaires est limitée à une période allant de 30 jours avant à 30 jours après le jour à simuler. Il est ainsi exclu de retrouver un jour d'été dans la série chronologique générée en hiver. On obtient par là même une courbe annuelle réaliste (il ne faut pas oublier le rôle que joue la standardisation des valeurs initiales, mais nous ne rentrerons pas dans les détails ici).

2. Un des jours similaires est choisi au hasard. Plus la similitude est grande, plus la probabilité de choisir un jour donné est élevée.
3. Le jour qui suit le jour choisi dans la série mesurée est utilisé comme prochain jour simulé.

Pour plus de détails sur la méthode « Nearest Neighbour-Resampling », veuillez vous référer aux documents Rajagopalan und Lall (1999), Wójcik et al. (2000) et Buishand und Brandsma (2001).

Les températures et données de précipitations journalières sur 35 ans (période allant de 1961 à 1995) ont été mises à disposition pour 36 stations dans le bassin du Rhin. Sur ces 36 stations, 25 sont en Allemagne, 1 au Luxembourg, 4 en France et 6 en Suisse.

La précipitation P et la température T étant fonction de la circulation de l'air dans l'atmosphère, il faut tenir compte en plus de trois circulations journalières :

- (1) Force relative des tourbillons (Vorticity) Z
- (2) Force des courants venant de l'ouest W
- (3) Force des courants venant du sud S .

Ces indices de circulation ont été calculés à partir des moyennes journalières de la pression atmosphérique au niveau de la mer pour des points sur un réseau régulier de 5° de latitude et 10° de longitude.

Les données sont corrigées des variations saisonnières avant le « Resampling ». Ces variations saisonnières sont réduites par ailleurs par la recherche limitée des « plus proches voisins » au sein d'une fenêtre temporelle progressive, basée sur le jour de référence. Cette fenêtre comporte 61 jours.

Afin que le vecteur D_t avec les propriétés caractéristiques ne soit pas trop important, les données observées dans 34 des 36 stations (2 stations de montagne en Suisse ont été laissées de côté) sont additionnées. Pour les paramètres précipitations et température, on tient compte des moyennes arithmétiques des valeurs journalières standardisées. Par ailleurs, on tient compte de la part F des stations avec $P \geq 0,1$ mm. La part F permet de faire la différence entre les précipitations générales et les pluies convectives.

La figure 1 fait état de la fonction de répartition (loi de Gumbel) des précipitations hivernales maximales sur 10 jours dans 34 stations (moyennes en fonction de la superficie), utilisées dans le vecteur D_t .

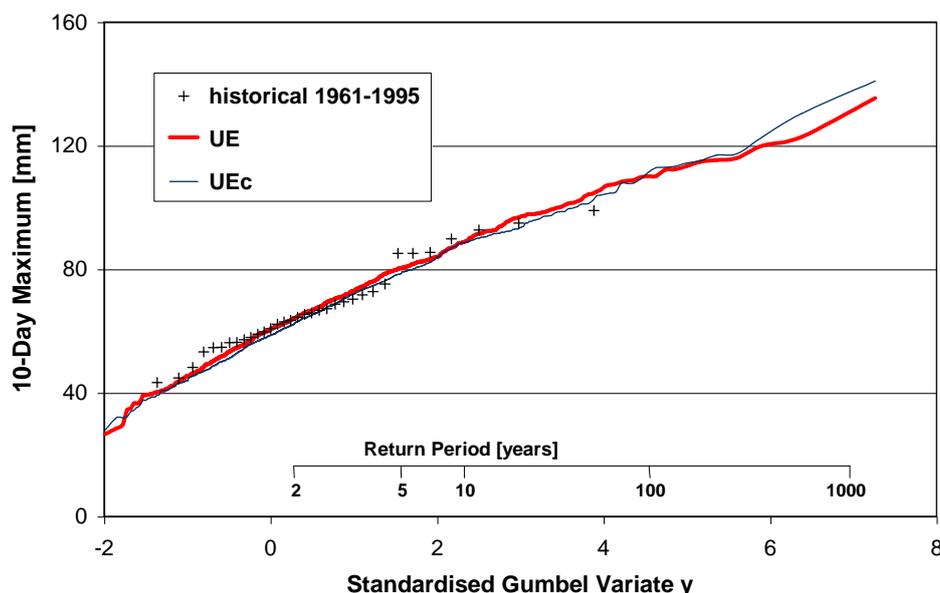


Fig. 1: Fonction de répartition de la loi de Gumbel pour les précipitations hivernales maximales sur 10 jours, données observées et simulées (simulation sur 1000 ans)

La figure fait ressortir une bonne concordance entre la répartition historique et simulée. Les précipitations actuelles réalistes sur plusieurs jours sont beaucoup plus importantes que la plus forte précipitation historique sur plusieurs jours dans la série chronologique 1961-1995, utilisée dans la simulation. C'est un aspect intéressant, notamment pour la modélisation précipitations-débit.

Le graphique montre que la plus forte précipitation simulée sur 10 jours dépasse la précipitation historique mesurée de 40 %, ce qui semble réaliste selon l'argumentation ci-dessus.

Pour le Bade-Wurtemberg, on dispose d'un autre générateur de précipitations dont les résultats concordent avec les analyses régionales des valeurs extrêmes de précipitations réalisées par le 'Deutsche Wetterdienst' (Office météorologique allemand) (LfU, 2000).

Sources bibliographiques:

Buishand, T.A., Brandsma, T. (2001): Multi-site simulation of daily precipitation and temperature in the Rhine basin by nearest-neighbor resampling. *Water Resour. Res.* , 37: 2761-2776. American Geophysical Union (AGU). Washington.

LfU, 2000: Niederschlagsreihen für die Langzeitsimulation, Reihe Siedlungswasserwirtschaft, Heft 14, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe.

Parmet B., Buishand, T.A., Brandsma, T., Mülders, R., (1999): Design discharge of the large rivers in The Netherlands – towards a new methodology. In: *Hydrological Extremes: Understanding, Predicting, Mitigating*. Proceedings of IUGG 99 Symposium HS1. L. Gottschalk, J.-C. Olivry, D. Reed and D. Rosbjerg (Eds.). IAHS Publ. No. 255. IAHS Press. Wallingford.

Rajagopalan, B., Lall, U. (1999): A k-nearest-neighbour simulator for daily precipitation and other variables. *Water Resour., Res.*, 35: 3089-3101. American Geophysical Union (AGU). Washington.

Wójcik, R., Beersma, J.J., Buishand, T.A: (2000): Rainfall generator for the Rhine basin: Multi-site generation of weather variables for the entire drainage area. KNMI-publication 186-IV. KNMI. De Bilt.