La crue du Rhin de mai-juin 1999

The Rhine flood of May-June 1999

par Martial Gerlinger

Ingénieur des Ponts et Chaussées
chargé de l'Arrondissement Fonctionnel du Service de la Navigation de Strasbourg

The recent Rhine flood (May 12th-first days of June 1999) was essentially due to important quantities of winter snow. The stream flows and the duration were really exceptional. The dikes in the upper part of the Rhine (which is trained on almost all the french-german part) and the existant impounding water means permitted to limit the consequences. The present paper describes the flood management.

I ■ HISTORIQUE DE L'AMÉNAGEMENT DU RHIN SUPÉRIEUR

Les différentes phases d'aménagement sont présentées en annexe 1.

● 1.1 La correction

L'aménagement du Rhin Supérieur remonte essentiellement au XIX^e siècle. Le Rhin était resté jusqu'en 1840 un fleuve à l'état sauvage, au lit parsemé d'îles souvent très étendues séparées par une succession de chenaux et de bras morts, et s'étendant au total sur une largeur de 2 à 3 km. A chaque crue, de nouvelles îles se formaient, d'autres disparaissaient et le cours du fleuve était souvent modifié. Les différentes digues protégeant la plaine étaient fréquemment emportées et la navigation n'y était pas facile.

Cette situation amena les Etats riverains à envisager une protection efficace des villages contre les effets des crues et une meilleure définition du lit du Rhin. Le seul moyen semblait être d'enrayer la formation des îles et de rassembler le débit moyen du fleuve dans un lit unique. La correction du fleuve, entre Sonderheim et Bâle, planifiée par le Colonel badois Tulla, fut menée de 1840 à 1860. Les travaux ont modifié la physionomie du fleuve en l'endiguant entre deux berges distantes de 200 à 250 m avec un tracé formé de tronçons rectilignes et de courbes d'un rayon minimal de 1 000 m. Les berges n'étaient plus submergées que pour des crues moyennes de débit 2 000 m³/s (débit moyen du Rhin = 1 000 m³/s), le débordement étant limité sur les deux rives par un système continu de Dignes des Hautes Eaux (DHE), situées parfois à plus d'un kilomètre en retrait.

Ces travaux ont effectivement amélioré nettement la protection contre les crues et la navigation au départ mais ont eu pour conséquence une forte augmentation de la vitesse d'écoulement de l'eau et des phénomènes d'érosion qui ont rendu la navigation difficile.

● 1.2 La canalisation

La canalisation entreprise au XX^e siècle a permis de supprimer les inconvénients ci-dessus. La mise en service des usines hydroélectriques sur le Rhin Supérieur a démarré à partir de 1932 sur le Grand Canal d'Alsace. A l'issue des accords franco-allemands de 1956, un nouveau type d'aménagement est retenu, avec la réalisation de dérivations du Rhin sur lesquelles ont été construites les usines et les écluses (aménagement dit en feston). Quatre chutes ont ainsi successivement été mises en service entre Brisach et Strasbourg.

Compte tenu de la reprise de l'érosion à l'aval de la dernière chute, qui risquait d'avoir un effet néfaste sur les ports de Strasbourg et de Kehl et sur la nappe phréatique, et vu les intérêts multiples liés à la poursuite de la canalisation, deux chutes ont été construites dans le lit même du Rhin à l'aval de Strasbourg (Gamsheim et Iffezheim). La situation actuelle est présentée en annexe 2.

Les 8 chutes à l'amont de Strasbourg sont gérées par EDF ; les 2 chutes suivantes à l'aval de Strasbourg sont gérées par les Etats (Services de la Navigation) à l'exception des usines hydroélectriques et des barrages mobiles qui sont concédés.

II ■ MESURES DE RÉTENTION DES CRUES

● 2.1 Effet de l'aménagement du Rhin Supérieur

Les aménagements du Rhin décrits ci-dessus et en particulier la canalisation, s'ils ont permis de protéger les riverains des secteurs canalisés contre des crues de fréquence supérieure à 1000 ans, ont également eu pour conséquence d'aggraver les crues à l'aval. Ainsi, une crue bicentennale à l'aval du secteur canalisé avait avant la canalisation un débit de l'ordre de 5 000 m³/s. Après la canalisation, si aucune mesure n'était engagée, le débit de la crue bicentennale serait de 5 700 m³/s.

Les Dignes des Hautes Eaux (DHE) à l'aval de la dernière chute du Rhin d'Iffezheim ayant été dimensionnées pour la crue bicentennale avant la canalisation, il a été décidé d'engager des mesures pour retrouver l'objectif de protection contre les crues à l'aval contre une crue bicentennale.

● 2.2 Mesures projetées

2.2.1 Convention franco-allemande du 6 décembre 1982

Pour atteindre cet objectif et après examen des différentes solutions, la solution adoptée est celle qui consiste à retenir, au moment de la pointe de crue, le volume excédentaire entre Bâle et Worms à l'aide d'une combinaison de mesures se situant essentiellement entre Bâle et Iffezheim.

Les mesures suivantes ont été étudiées :

- Manœuvres exceptionnelles des usines EDF :

Par une manœuvre appropriée des usines EDF, il est en effet possible de créer un volume de rétention dynamique de 45 millions de m³.

- Utilisation des 2 barrages agricoles existants sur le Vieux-Rhin.

Il s'agit du barrage agricole de Brisach et du barrage agricole de Strasbourg/Kehl. L'écêtement des crues est obtenu par un rehaussement de la cote de rétention aux barrages agricoles.

- Zones de rétention latérales dites « polders » : zones endiguées latérales au Rhin pouvant être inondée au passage de la crue.

De nombreuses combinaisons des mesures évoquées ci-dessus ont été testées sur le modèle mathématique pour évaluer leur efficacité. La plus appropriée pour atteindre l'efficacité recherchée a été reprise dans la convention franco-allemande du 6 décembre 1982.

2.2.2 Mesures projetées actuellement dans le cadre de la convention

Les mesures de rétention sont présentées en annexe 3. Côté français ces mesures sont les suivantes :

- Manœuvres exceptionnelles des usines EDF.
- Polder de la Moder (5,6 Mm³, 240 hect.), opérationnel depuis 1992.
- Polder d'Erstein (7,8 Mm³, 600 hect.), dont la construction a démarré en 1997. Le plan de cette mesure est présenté en annexe 4 à titre d'exemple.

Le Land Bade-Wurtemberg réalise 13 mesures de rétention pour un volume de 168 Mm³ et le Land Rhénanie-Palatinat 8 mesures pour un volume de rétention d'environ 50 Mm³.

2.2.3 Situation actuelle

Les mesures de rétention actuellement opérationnelles sur le Rhin Supérieur sont les suivantes :

- Manœuvres exceptionnelles des usines EDF.
- Polders d'Altenheim.
- Barrage agricole de Strasbourg/Kehl (pas encore à la cote de rétention maximum pour l'instant, des mesures d'adaptation pour assurer le rabattement de la nappe dans les zones latérales étant actuellement en cours de réalisation).
- Polder de la Moder.

III ■ LA GESTION DE LA CRUE

● 3.1 La crue du Rhin

La crue du Rhin de mai-juin 1999 a été exceptionnelle tant par les débits atteints que par sa durée.

La première onde de crue (et également la plus importante) est arrivée à Bâle le 12 mai aux environs de 23 heures avec un débit de pointe de 4 700 m³/s à Rheinfelden (soit environ 5 000 m³/s à Bâle), correspondant à une crue de fréquence supérieure à 100 ans à ce niveau.

Les affluents alsaciens et du Bade Wurtemberg n'étant heureusement pas en situation de hautes eaux (ce qui est exceptionnel vu la situation météorologique dégradée sur l'ensemble de la Suisse), le débit de l'onde de crue ne s'est pas accentué sur le secteur franco-allemand pour arriver avec un débit de 4 570 m³/s à Maxau (à l'aval de la frontière franco-allemande), soit une fréquence de retour de l'ordre de 50 ans.

Après une semaine avec des débits très soutenus de l'ordre de 3 000 m³/s, une seconde onde de crue est ensuite apparue à Bâle dans l'après-midi du 22 mai 1999. L'ensemble des lacs suisses et en particulier le lac de Constance étant déjà remplis, un phénomène de « goutte d'eau » sur l'ensemble de la partie Est du bassin alpin du Rhin a conduit à une nouvelle onde de l'ordre de 4 000 m³/s à Bâle (fréquence de retour d'environ 20 ans) supérieure à la valeur atteinte lors de la crue de février 1999.

Par la suite et jusqu'à mi-juin environ, les débits sont restés soutenus de l'ordre de 2 500 m³/s à 3 000 m³/s (3 fois le débit moyen) du fait du phénomène de vidange progressive des lacs suisses et de pluies fréquentes.

● 3.2 Conséquence de la crue et organisation mise en place

Les principales conséquences de cette crue exceptionnelle ont été des inondations importantes des îles du Rhin (entre le Vieux-Rhin et les canaux de dérivation), la mise en charge importante des Dignes des Hautes Eaux (DHE) sur 18 km à l'aval du secteur canalisé et l'interruption de la navigation.

3.2.1 Organisation mise en place

Ces conséquences ont justifié la mise en alerte permanente pendant toute la crue du Centre d'Alerte Rhénan et d'Information Nautique de Gambsheim (CARING) du Service de la Navigation, et du centre d'alerte d'EDF à Kembs (Poste Hydraulique de Vallée, PHV) et la mise en place aux deux préfectures de département (Haut-Rhin et Bas-Rhin) d'une cellule de crise durant le passage de la première onde de crue.

Le Service de la Navigation de Strasbourg assure l'annonce de crue sur le Rhin franco-allemand, la gestion de la navigation, la gestion des polders français (pour le compte

de Voies Navigables de France) et la gestion du Rhin à l'aval de Strasbourg en relation avec les concessionnaires hydroélectriques.

EDF assure en ce qui la concerne la gestion de l'ensemble des ouvrages sur le Rhin des 8 biefs à l'amont de Strasbourg et en particulier la mise en œuvre des manœuvres exceptionnelles des usines hydroélectriques.

Les échanges sur les prévisions des crues et la mise en œuvre des mesures de rétention des crues se font en relation avec plusieurs services :

- EDF (en particulier le Poste Hydraulique de Vallée à Kembs, PHV Kembs). EDF dispose d'un modèle de prévision des crues à court terme pour Kembs.
- Le service hydrologique et géologique national suisse pour les prévisions des crues à Bâle (cf. *annexe 5*).
- Les services de prévisions de crues et de gestion des mesures de rétention des crues du Land Bade Wurtemberg (cf. *annexe 6*) et du Land Rhénanie Palatinat.
- Le Service de la Navigation allemand de Fribourg.

Parallèlement à ces échanges, le CARING transmet les informations aux préfectures concernées (Bas-Rhin et Haut-Rhin) ainsi qu'aux maires, services et particuliers concernés. Un exemple de message diffusé est transmis en *annexe 7*. Après autorisation par la préfecture, le CARING assure également une information régulière des médias.

3.2.2 Inondations des îles du Rhin

Les îles du Rhin sont très fréquentées par les promeneurs et les pêcheurs. Quelques habitations y sont également situées. Il importe donc de faire évacuer les zones inondables et le cas échéant les habitations qui pourraient se trouver isolées.

Cela est réalisé par la gendarmerie et les pompiers. Un survol en hélicoptère est également lancé par les services de la protection civile sur l'ensemble des îles du Rhin et le polder de la Moder préalablement aux inondations et en fonction des prévisions de crues.

3.2.3 Surveillance des Dignes des Hautes Eaux (DHE)

Le secteur à l'aval d'Iffezheim (secteur non canalisé sur environ 18 km en rive française) est protégé par une Digue des Hautes Eaux (DHE) contre une crue de fréquence 200 ans environ. Pour vérifier la stabilité des digues qui sont mises en charge, la loi locale de 1891 permet de réquisitionner des équipes communales d'habitants des 5 villages concernés.

3.2.4 Interruption de la navigation

Durant la crue de mai-juin, la navigation a été arrêtée sur le secteur à courant libre à l'aval d'Iffezheim (secteur où la crue est la plus pénalisante pour la navigation) au total 27 jours, dont 19 jours d'affilé au départ. Cette interruption est exceptionnelle dans le mesure où jusqu'à présent, les interruptions les plus longues relevées étaient de l'ordre de 18 jours au total sur une année, avec au maximum 12 jours d'affilé.

Cette interruption a nécessité une gestion individuelle par le CARING de l'ensemble des bateaux (entre 100 et 200) présent sur le secteur et dans certains cas, un ravitaillement en eau de certains bateaux stoppés en dehors d'un port.

● 3.3 La gestion de l'écroulement de la crue

Sur les mesures de rétention des crues disponibles actuellement (cf. paragraphe 2.3), l'ensemble des mesures de rétention a été mise en œuvre lors du passage de la première onde de crue le 13 mai 1999, à l'exception du polder de la Moder (comme cela avait déjà été le cas durant la crue de février 1999). Au total, un volume de rétention de l'ordre de 60 millions de m³ a ainsi pu être stocké.

Les critères de mise en œuvre des rétentions avaient été déterminés au préalable par un groupe de travail franco-allemand pour garantir une cohérence de la gestion de l'ensemble des mesures et pour éviter des mises en œuvres arbitraires. Les critères, qui sont des critères fixes comme par exemple le fait d'atteindre un certain débit à une échelle de référence, doivent permettre de répondre à l'ensemble des situations qui peuvent se présenter. Une série d'une vingtaine de crues historiques permettent ainsi des simulations pour optimiser les critères pour la crue bicentennale qui est notre objectif de protection.

Durant cette crue, le polder de la Moder n'a pas été mis en œuvre alors que le critère de mise en œuvre était pourtant atteint. Ce polder se trouvant tout à fait en aval des mesures de rétention existantes, nous avons en fait décidé de le garder en réserve après le passage de la première onde de crue dans la mesure où à ce moment là une seconde onde de crue de débit de pointe similaire était alors annoncée et où toutes les autres mesures de rétention avaient déjà été mises en œuvre. Au final, la seconde onde a été moins importante que prévu.

Au total, les mesures de rétention ont permis d'écrouler la crue de l'ordre de 400 m³/s. Ainsi, sans mise en œuvre des mesures de rétention, le débit de 5 000 m³/s (situation très critique vis-à-vis des Dignes de Hautes Eaux) aurait été atteint à l'aval d'Iffezheim.

Carte topographique de 1828.
Détail de la "Carte de démarcation de la frontière du Rhin".
Avant la correction de Tulla, le

Rhin se présente comme un fleuve "sauvage" dans la zone dite "anastomosée" qui comporte un réseau dense de bras sinueux,

enserrants des îles et des bancs de gravier en permanente évolution.

Carte topographique de 1872.
Après les travaux de Tulla, les nombreux bras latéraux sont réunis dans un lit fermé d'une

largeur d'environ 200 m capable d'évacuer approximativement le double du débit moyen. Lorsque le débit augmente, le

fleuve sort de son lit et inonde la forêt alluviale jusqu'aux digues de hautes eaux situées à l'intérieur des terres.

Carte topographique de 1963.
Jusqu'à Brisach, l'aménagement du Rhin comporte un canal latéral dit "Grand Canal d'Alsace"; on passe ensuite à l'aménagement dit "en festons". Pour la

chute de Marckolsheim, ici représentée, un barrage installé près de Burkheim amène l'eau dans un canal de dérivation; et

les digues, formant la retenue, arrivent jusqu'à proximité du fleuve. La forêt rhénane entre Brisach et Burkheim n'est plus inondée par les crues.

Annexe 1 : Aménagement du Rhin Supérieur

Annexe 2 : Situation actuelle

Annexe 3 : Les mesures de rétention des crues prévues sur le Rhin supérieur

Espaces de rétention sur le Rhin supérieur			
septembre 1996			
Espace de rétention	Type de rétention ²⁾	D'après plan de 1982 [millions de m ³]	D'après plan actuel [millions de m ³]
France:			
– manoeuvres except. des usines du Rhin ¹⁾	manoeuvres	45	45
Erstein	polder	6	7,8
– Moder	polder	5	5,6
Total France		56	58,4
Bade-Wurtemberg:			
au sud de l'usine de Vieux-Brisach	barrage ou décaissement	53	25,0
barrage agricole de Vieux-Brisach ¹⁾	barrage	10	9,3
Vieux-Brisach/Burheim	polder	-	6,5
Wühl/Weisweil	polder	-	7,7
débouché de l'Elz	polder	-	5,3
lchenheim/Meißenheim	polder	-	5,8
– Altenheim	polder	18	17,6
– barrage agricole de Kehl/Strasbourg ¹⁾	barrage	37	37,0
Freistett	polder	-	9,0
Söllingen/Greffern	polder	8	12,0
Bellenkopf/Rappenwört	polder ou recul de digues	-	14,0
Elisabethenwört	polder ou recul de digues	-	11,9
Ile de Rheinschanz	polder	-	6,2
Total Bade-Wurtemberg		126	167,3
Rhénanie-Palatinat:			
localisation non déterminée		30 + 14	
– Daxlander Au	polder		5,1
Wörth/Jockgrim	recul de digues		8,8
Neupotz	polder		8,6
Mechtersheim	polder		7,4
Flotzgrün	polder		5,0
Ile de Koller	polder		6,1
Waldsee/Altrip/Neuhofen	polder		8,1
Petersau/Bannen	recul de digues		1,4
Mittelbusch (Worms II)	recul de digues		2,3
Bodenheim/Laubenheim	polder		6,0
Ingelheim	polder		3,8
Total Rhénanie-Palatinat		44	62,6
Somme de tous les totaux:		226	env. 288

– Espaces de rétention achevés et opérationnels; capacité de rétention au barrage agricole de Kehl/Strasbourg encore limitée à env. 12 millions de m³ à l'heure actuelle

1): Les valeurs indiquées sont des maximums; le volume réel utilisé dépend du débit du Rhin

2): L'efficacité de toutes les mesures dans la partie non régularisée du Rhin en aval d'Iffezheim dépend du débit du Rhin

Annexe 3 : Les mesures de rétention des crues prévues sur le Rhin supérieur

LA HOUILLE BLANCHE/N° 1-2000

Landeshydrologie und -geologie
Service hydrologique et géologique national

13 May 1999 08:33:33

Vorhersage / Prédiction RHEIN - RHEINFELDEN
Beobachtung bis / Observation jusqu'à 6 H

Stundenmittel Abfluss / Moyennes horaires du débit (m3/s)

13.05.99 1/13 7/19
1-12 H 4434 4365 4315 4284 4276 4289 4277 4248 4217 4189 4168 4159
13-24 H 4173 4216 4277 4339 4392 4430 4456 4466 4453 4414 4350 4267

14.05.99 1/13 7/19
1-12 H 4176 4084 4003 3941 3900 3874 3860 3854 3855 3858 3862 3866
13-24 H 3865 3858 3843 3819 3786 3743 3692 3635 3576 3518 3463 3412

15.05.99 1/13 7/19
1-12 H 3365 3323 3286 3252 3222 3194 3169 3145 3123 3101 3080 3060
13-24 H 3041 3024 3009 2997 2988 2984 2984 2968 2994 3000 3005 3007

10 0/0 50 0/0 90 0/0
13.05. 4442 4311 4208
14.05. 4276 3806 3523
15.05. 3482 3098 2870

ZEITWEISE REGEN, ABER NUR MAESSIG MENGEN. ALLMAEHLICH ETWAS KUEHLER

TOUJOURS PLUVIEUX, MAIS NON PAS DES QUANTITES ABONDANTES. UN PEU PLUS FRAIS.

Stundenmittel Wasserstand / Moyennes horaires niveaux d'eau (m)

01.00 07.00 13.00 19.00 H

VORTAG 12.05.99 5.72 6.55
AUSGABETAG 13.05.99 6.67 6.49 6.37 6.70
1. FOLGETAG 14.05.99 6.37 6.01 6.01 5.81
2. FOLGETAG 15.05.99 5.44 5.21

Annexe 5 : Prédiction des crues suisses à Rheinfelden (amont de Bâle)

Annexe 6 : Prévision à 12 h par la Land Bade Wurtemberg à MAXAU (aval d'Iffezheim)