
Direction des travaux publics, des transports et de l'énergie du canton de Berne

Office des ponts et chaussées
Office de l'économie hydraulique
Reiterstrasse 11
3011 Berne

Crues extrêmes dans le bassin versant de l'Aar

Résumé du rapport final



Impressum

Traitement du projet

geo7 AG, geowissenschaftliches Büro

Neufeldstrasse 3, 3012 Berne
Tél. +41 (0)31 300 44 33

Peter Mani, géographe diplômé

Contrôle des modifications

Version	Date	Nom / service	Remarques
0.1	22.01.2008	P. Mani	Etablissement
0.2	28.11.2007	P. Mani	Projet en vue de la suite du traitement
1.0	19.12.2007	P. Mani	Remaniement

Remarques concernant le document

Créé avec Microsoft Office Word, version 2003

Nom de fichier t:\0_arbeit\sfsf_2004\opcl\rapports\wasserbau\kurzfassung schlussbericht ehw ohnebilder_f_do.doc

Taille du fichier 173 KBytes

Version courante 7

Rapport de geo7

Sous réserves de modifications techniques

© Copyright 2007 geo7 AG, Berne/Suisse

Conception et mise en page : geo7 AG, Berne

Table des matières

1	Situation initiale	1
2	Objectifs.....	1
3	Aperçu de la démarche.....	2
4	Scénarios météorologiques	3
5	Résultats.....	4
6	Effets.....	9
7	Conclusions.....	10

1 Situation initiale

Que signifie «extrême» ?

Suite aux crues survenues en mai 1999 dans l'Oberland bernois et aux crues dévastatrices d'août 2002 sur le cours de l'Elbe, on s'est demandé dans le canton de Berne si des crues extrêmes, dépassant nettement les statistiques existantes, seraient également possibles dans le bassin versant de l'Aar et quelles pourraient en être les conséquences. Une étude préalable a montré que le potentiel d'impact maximal dans le bassin versant de l'Aar n'a encore jamais été atteint à ce jour et que, par conséquent, on ne saurait exclure à l'avenir des événements plus importants que par le passé. Les objectifs de l'étude principale ont été définis sur la base de ces résultats.

L'étude principale, intitulée «Crues extrêmes dans le canton de Berne», a débuté en août 2005. Les crues de la fin d'août 2005 ont été d'abord analysées et les résultats pertinents ont fait l'objet d'un rapport intermédiaire. Le projet proprement dit a commencé en mai 2006.

2 Objectifs

Améliorer la préparation

Sous l'angle de la prévoyance des catastrophes, il convient, dans le canton de Berne, de mieux connaître les événements extrêmes à large échelle susceptibles de dépasser nettement l'ampleur des événements connus à ce stade. Il est en particulier important de progresser dans la connaissance de la genèse et de l'ampleur des débits extrêmes et de réunir des données quant à l'impact des crues extrêmes sur les espaces habités et les infrastructures importantes.

Conception de l'approche

Le périmètre de l'étude est formé par le bassin versant de l'Aar et de ses principaux affluents jusqu'à Murgenthal. Divers scénarios hydrométéorologiques doivent être développés pour cette zone. Sur la base de ces scénarios, il faudra calculer les débits des cours d'eau principaux et délimiter les surfaces inondables. S'agissant de celles-ci, il faut déterminer leur potentiel de dommages en tenant compte notamment des infrastructures importantes.

Utilité supplémentaire

Les résultats de l'étude principale doivent révéler en outre les déficits de protection, servir de base à l'élaboration de cartes des dangers (notamment l'estimation des risques résiduels) et fournir les bases utiles à la régulation du niveau des lacs.

Quelles sont les limites de l'étude ?

L'étude n'a pas pour objectif d'analyser les importants sinistres locaux qui pourraient éventuellement n'impliquer que des rivières ou des ruisseaux isolés. Il est donc tout à fait possible, par exemple, que des analyses locales fassent état de débits plus importants que ceux envisagés dans la présente approche à large échelle. Par ailleurs, nous ne procédons pas à un classement statistique des scénarios appliqués et des débits qui en résultent (ce que la définition des objectifs exclut explicitement). Cependant, des travaux supplémentaires devront établir les bases statistiques voulues pour dimensionner les mesures à prendre à la lumière des résultats de l'étude sur les crues extrêmes.

3

Aperçu de la démarche

Une analyse systémique

L'étude se concentre d'une part sur l'analyse des processus susceptibles de conduire à des crues extrêmes et, d'autre part, sur l'analyse des effets de tels événements. Nous avons étudié divers scénarios de survenance de crues extrêmes en nous fondant sur une analyse systémique. A cet effet, nous avons défini dans un premier temps divers scénarios hydrométéorologiques sur la base d'événement survenus antérieurement.

Un modèle systémique dynamique a été créé pour permettre la simulation hydrologique des débits extrêmes. Ce modèle comprend la représentation, sous forme de sous-modèles, des principaux bassins versants partiels et des lacs situés dans le périmètre de l'étude. A cet effet, la zone étudiée (Aar - Murgenthal) a été subdivisée en 36 bassins versants partiels au total. Pour chaque bassin versant partiel, on a procédé à la simulation de la courbe des débits. Le niveau des lacs de l'Oberland et du Jura, de même que les débits mesurés à leur sortie, peuvent en outre faire l'objet d'une simulation.

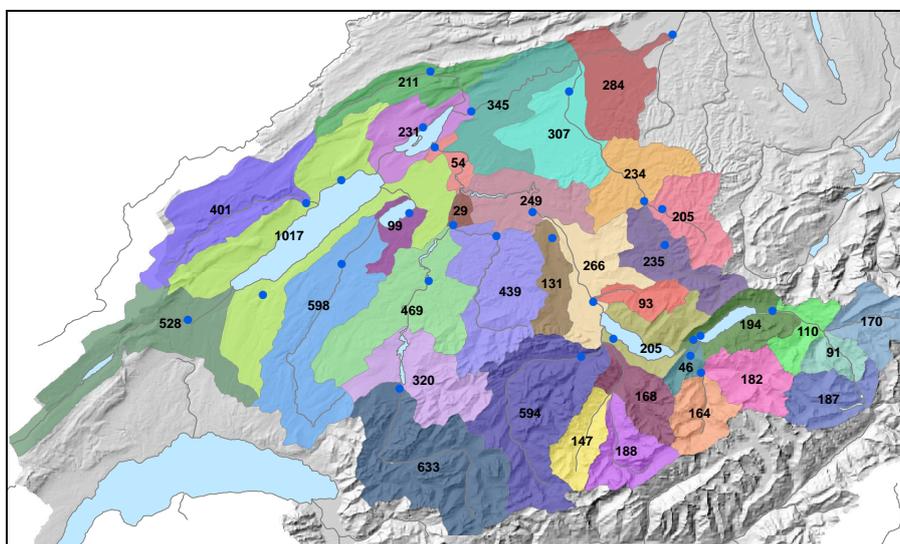


Figure 1 Bassin versant Aar – Murgenthal structuré en bassins versants partiels (surface des zones en km²), avec les stations de mesure des débits considérées (points bleus)

Sites clés

Le système hydraulique du périmètre étudié comporte des sites clés, c'est-à-dire des emplacements présentant une capacité maximale de débit réduite par rapport au système en amont. De tels sites limitent les débits dans les tronçons aval des cours d'eau et constituent une base importante pour modéliser les débits. Les sites clés constituent également les points de débordement potentiels.

Pour déterminer les sites clés, nous avons calculé les capacités de débit de l'Aar et de ses affluents pour les comparer avec les statistiques de crues disponibles. Le calcul des capacités de débit s'est fait soit à l'aide de documents existants (études du charriage des matériaux, cartes des dangers, plans d'aménagement des eaux), soit sur la base de nouveaux calculs.

Surfaces inondables et espaces de rétention

Pour les zones susceptibles d'être envahies par les eaux sur de larges surfaces, on a examiné, à l'aide de simulations bidimensionnelles non stationnaires des débits, quel serait l'effet d'absorption de l'inondation sur

les pointes de crues. A cet effet, on a défini une courbe des débits entrants à la limite supérieure du modèle (déterminée par les simulations globales du système) et une courbe des débits sortants à l'extrémité inférieure du modèle.

4

Scénarios météorologiques

Evénements à ce stade

L'analyse des événements passés dans le cadre de l'étude préalable (geo7 2003) a montré que les crues à large échelle sont généralement dues à des situations hydrométéorologiques semblables.

- Le niveau des lacs de Thoue et de Brienz est élevé en raison de précipitations assez fortes combinées à la fonte intensive des neiges dans les Alpes et les Préalpes au printemps et durant l'avant-été. Le niveau élevé du lac de Thoue entraîne un important débit de l'Aar. Selon la répartition des précipitations, des débits élevés peuvent également se former dans la Sarine et causer des niveaux élevés dans les lacs au pied du Jura.
- La fonte des neiges sur le Plateau à l'arrière-automne ou en hiver, sous l'effet d'un courant d'air chaud allié à de fortes pluies, produit une très grande quantité d'eau en provenance du Plateau. Les crues concernent alors principalement les cours inférieurs de l'Aar et de la Sarine, de même que la Broye, l'Orbe et la Menthue. Les niveaux des lacs jurassiens sont par conséquent élevés.
- Plusieurs épisodes de précipitations, de forte intensité et durant plusieurs jours chacun, se succèdent à large échelle. Des épisodes de précipitations à large échelle et de forte intensité entraînent certes des débits importants dans les rivières, mais les volumes ne sont pas problématiques lorsque ces épisodes restent isolés. En revanche, la succession de tels événements en peu de temps constitue des problèmes de volumes s'agissant des lacs jurassiens, du lac de Thoue et du lac de Brienz.

L'événement d'août 2005 a montré que les précipitations estivales intenses à large échelle peuvent entraîner des crues des lacs de l'Oberland et du pied du Jura, de même qu'au long de l'Aar.

Déductions à partir des scénarios

L'évaluation des événements survenus à ce jour, y compris en août 2005, montre qu'un déroulement moins favorable des événements aurait été possible. Nous devons supposer que des événements fondamentalement plus importants que ceux connus jusqu'ici sont possibles. Toutefois, comme il est très improbable que des intempéries surviennent selon des processus totalement inconnus à ce stade, nous avons défini les scénarios en postulant les trois situations hydrométéorologiques connues.

Pour concevoir les scénarios, nous avons dû, dans une première étape, réunir les données des intempéries les plus fortes survenues dans le périmètre examiné au cours de la période de référence (1901 – 2004). Nous avons distingué des durées de 1-3 jours, 7, 10, 15, 20, 25 et 30 jours. Nous avons défini les champs de précipitations de ces événements. Pour renforcer les scénarios, nous avons recouru à deux procédés :

- le déplacement spatial des champs de précipitations, compte tenu de la situation météorologique;

- l'activation de paramètres de précipitations essentiels spécifiques à l'événement et le déplacement du maximum selon l'axe temporel.

Pour élaborer de tels scénarios, nous avons défini des variantes selon la situation d'enneigement, le niveau de remplissage des réservoirs des centrales et le niveau des lacs. Lors de ces travaux, nous avons toujours veillé à ce que les scénarios soient physiquement plausibles et intrinsèquement cohérents.

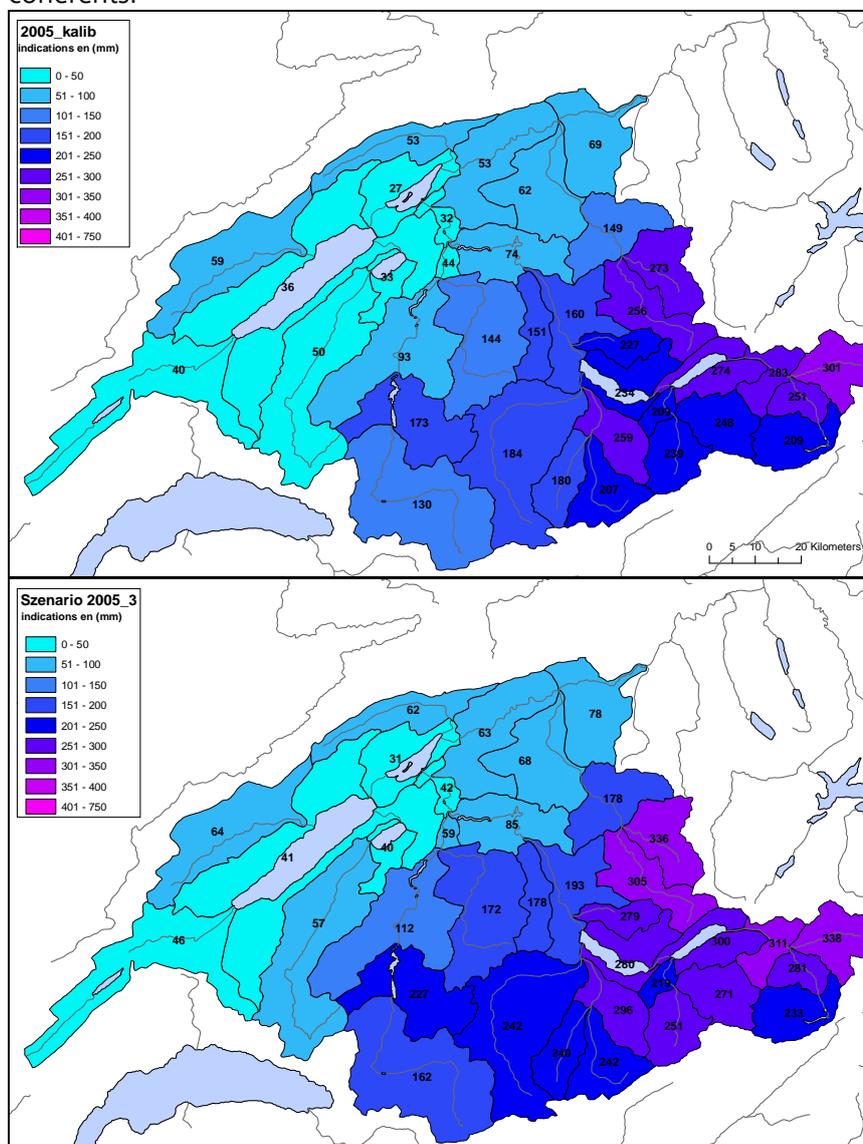


Figure 2 Précipitations régionales (événements d'août 2005, ci-dessus) et renforcement du scénario (situation stationnaire du champ de précipitations, ci-dessous) ((ohne Abbildung ist es schwierig...))

5

Résultats

Types d'événements déterminants

A partir des simulations réalisées dans le cadre de l'analyse systémique, nous avons défini sept scénarios déterminants, qu'il est possible de rapporter à trois types d'événements.

- **Type A** : précipitations intenses durant 2-3 jours, combinées à un niveau élevé du niveau des lacs de l'Oberland bernois.

- **Type B** : succession de vagues de précipitations durant 14-30 jours.
- **Type C** : précipitations combinées à un réchauffement en cas d'enneigement jusqu'en basse altitude.

Comme les valeurs d'entrées (intrants) choisies pour les précipitations sont les précipitations journalières, les pointes de débits simulées correspondent approximativement au maximum de la moyenne glissante calculée sur 24 heures. De ce fait, selon les caractéristiques de la zone considérée, les maxima des débits simulés peuvent être nettement inférieurs aux valeurs horaires maximales possibles.

Simulation d'inondations

L'étude sur les crues extrêmes traite prioritairement des aspects globaux. La rupture de digues et d'embâcles sous les ponts ne sont donc considérés que de manière très restrictive. Cette façon de procéder garantit d'une part que la courbe du débit ne soit pas réduite par des processus improbables en amont. Inversement, il se peut de ce fait que le danger d'inondation soit éventuellement présenté trop favorablement par endroits. L'étude locale des crues extrêmes devrait éventuellement partir d'hypothèses plus pessimistes.

Type d'événements A : fortes précipitations de 2-3 jours

Le type d'événements A présente une situation de crues semblable à celle d'août 2005. Les précipitations déterminantes surviennent en trois jours. Les précipitations se concentrent dans les Alpes et les Préalpes. Des crues peuvent survenir dans les principaux cours d'eau (Aar, Lütschine, Kander et Simme) et dans les lacs de Brienz et de Thoune (figure 3). Les débits des affluents des deux lacs peuvent atteindre dans certains cas des valeurs supérieures de plus de 50 pour cent à celles d'août 2005. Par conséquent, les niveaux des lacs de Brienz et de Thoune peuvent dépasser de près de 1,5 m, respectivement de 0,75 m le niveau atteint en août 2005. L'Aar présente également des débits extrêmes entre Thoune et Hagneck. Les simulations indiquent un débit de 700 m³/s pour l'Aar à Berne.

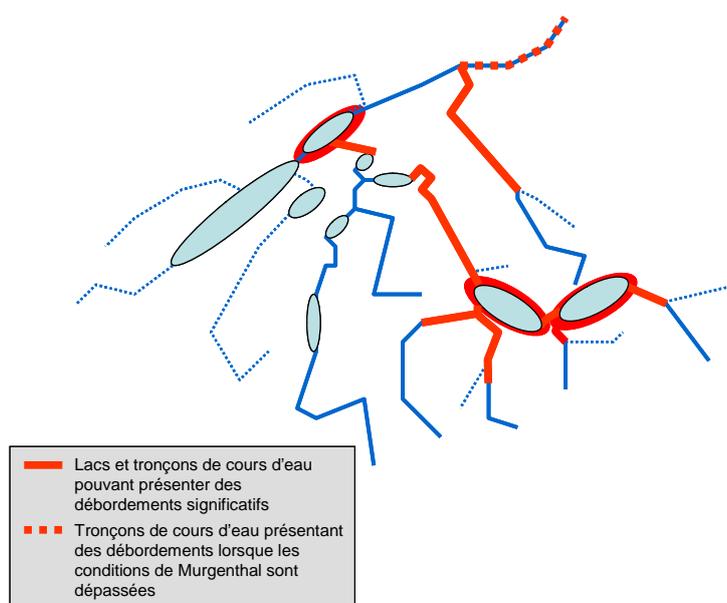


Figure 3 Zones de crues pour le type d'événements A (2-3 jours de fortes précipitations)

Le type d'événements A entraîne, en raison du fort débit de l'Aar à Hagneck, une élévation nettement plus marquée du lac de Bienna que des

autres lacs jurassiens. Seul le lac de Bièvre dépasse donc sa limite des crues (de 0,5 m bien compté), tandis que les lacs de Neuchâtel et de Morat s'en approchent.

S'agissant des lacs, la limite des crues est dépassée pendant une période comprise entre 5 jours (lac de Brienz) et 10 jours (lacs de Thône et de Bièvre). Bien que la durée des précipitations soit relativement courte (2-3 jours), le niveau des lacs reste nettement plus longtemps proche de leur limite des crues.

Quant à l'Emme, des crues susceptibles de dépasser nettement celles de 2005 (p. ex. dépassement de 200 m³/s à Luterbach) peuvent survenir avant tout sur son cours inférieur. Il en résulterait de vastes inondations dans la région de Kirchberg, qui pourraient aussi affecter les zones habitées d'Utzensdorf et de Bätterkinden, voire le nouveau tronçon des CFF (figure 4). Quant à l'Aar, il ne provoquera d'inondations en aval de l'embouchure de l'Emme que si la condition de Murgenthal est dépassée (débit de l'Aar à Murgenthal > 850 m³/s).

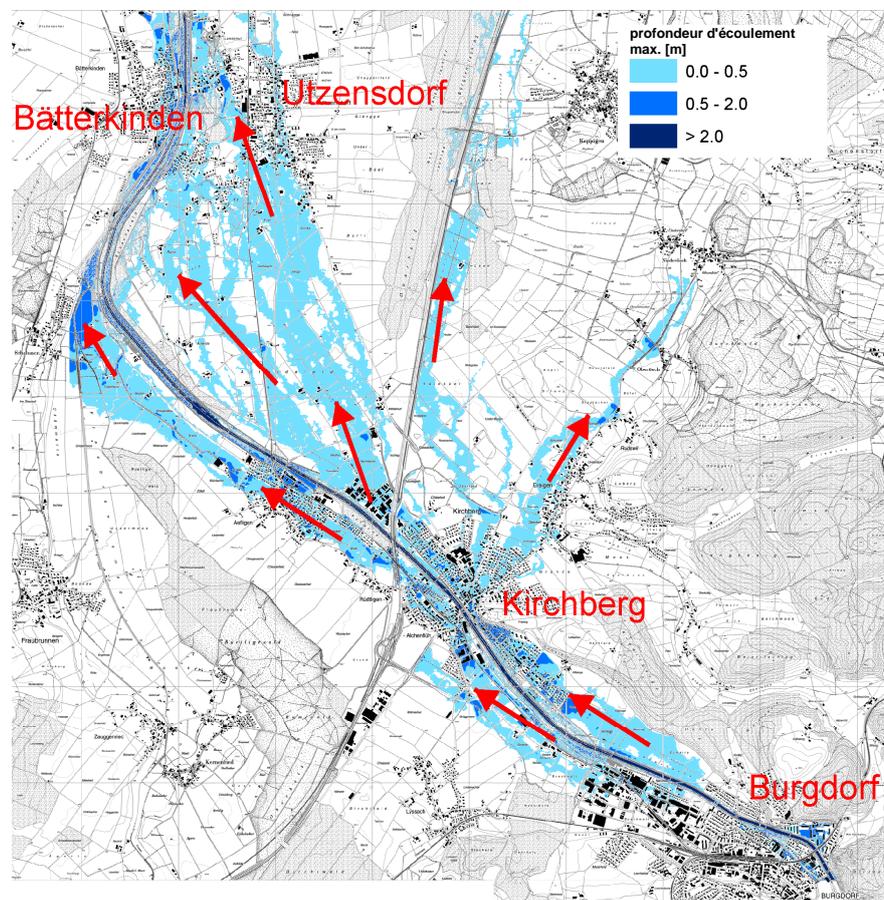


Figure 4 Surfaces d'inondation maximales dans la zone de Kirchberg (type d'événement A)

Type d'événements B : précipitations durant 14-30 jours

Le type d'événements B se caractérise par des précipitations et des successions de précipitations d'une durée de 14-30 jours. Selon le scénario déterminant, on simule trois vagues de précipitations dont la dernière est la plus intensive. Le centre des précipitations se situe dans les Alpes et le Jura.

Les pointes de débits des affluents des lacs de Thône et de Brienz sont généralement quelque peu moindres que pour le type d'événements A. Pourtant, dans ce scénario, la longueur de la durée entraîne une cote de 560,3 m pour le lac de Thône, soit le niveau maximum simulé (fi-

gure Figure 6). Les débits de l'Aar en aval du lac de Thoune sont par conséquent importants. A Berne, on mesure pour l'Aar un débit simulé de près de 780 m³/s.

Ce type d'événements entraîne des débordements à large échelle dans la zone comprise entre Thoune et Berne. L'eau sort de son lit sur la droite à la hauteur de Kiesen et peut, à partir de Wichtrach, inonder une vaste partie de la plaine de l'Aar. A Münsingen, la zone inondée fait un peu plus de 1 km de large. A hauteur de la Chlihöchstettenau, l'eau regagne le lit de l'Aar (Figure 5). Malgré l'ampleur de l'inondation, la réduction de la pointe de crue est modeste : elle passe d'environ 780 m³/s à environ 760 m³/s. La pointe n'est retardée que d'environ six heures. La raison de cette faible absorption des débits réside dans l'«inertie» de la courbe des débits en aval du lac de Thoune. En outre, il s'agit d'une rétention dynamique et non pas d'une rétention statique.

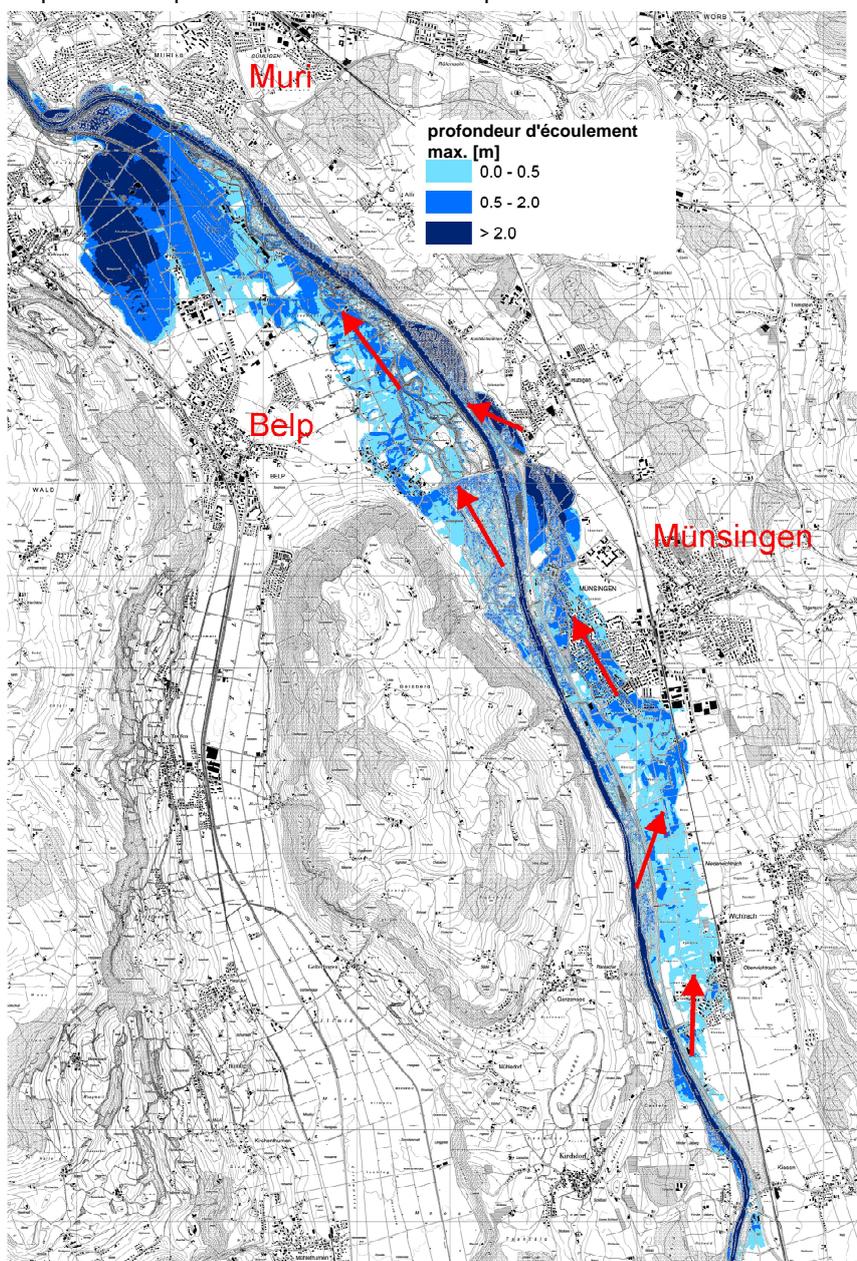


Figure 5 Surfaces d'inondation maximales entre Thoune et Berne (type d'événements B)

Selon les scénarios, les lacs au pied du Jura atteignent leur plus haut niveau sous l'effet d'événements de type B. En raison de la longue durée des précipitations, le niveau des lacs peut dépasser massivement le maximum mesuré depuis la deuxième correction des eaux du Jura (le dépassement peut atteindre 3 m dans le scénario déterminant). Mais il faut tenir compte du fait qu'à la retenue d'eau de Bienne Port, le débit est strictement géré en fonction du niveau du lac, selon les courbes de débits prévues par le règlement du barrage. En outre, le débit est limité à 650 m³/s et une déviation du courant autour du barrage n'est également pas prise en compte. Nous n'avons pas simulé l'abaissement du niveau des eaux par l'accroissement provisionnel du débit, comme ce serait possible en cas d'événement prolongé. De ce fait, les maxima simulés du niveau des lacs représentent des valeurs maximales envisageables dans des conditions défavorables.

Notons aussi que le niveau des lacs dépasse la limite des crues d'autant plus longtemps que l'on se situe davantage en aval : la crue la plus longue, de 25 jours, est celle du lac de Bienne.

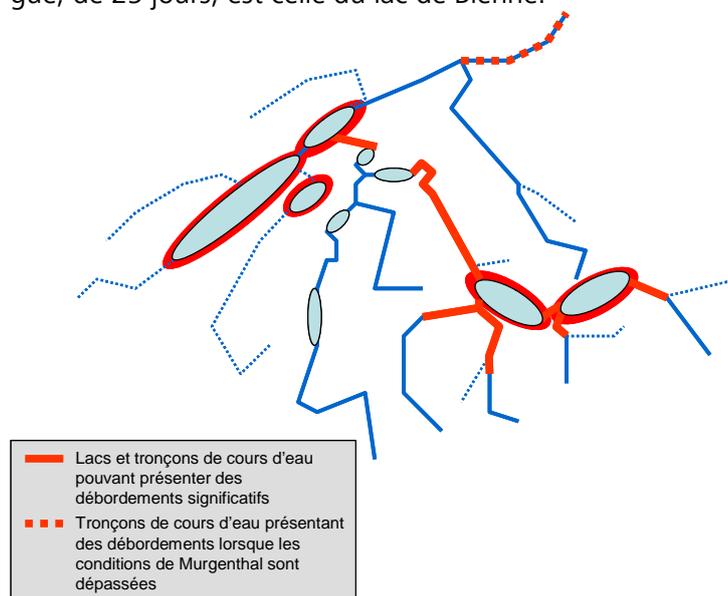


Figure 6 Zones de crues de type B (14-30 jours de précipitations)

Type d'événements C : précipitations et fonte des neiges

Dans le cas du type d'événements C, les précipitations peuvent durer entre 7 et 30 jours et se combiner à une intense fonte des neiges sur le Plateau. La combinaison des précipitations et de la fonte des neiges entraîne d'importants débits. En l'absence de fonte de neige, des débits de crues ne surviennent au pire que localement.

Lorsqu'un événement de ce type survient, les crues concernent surtout les lacs jurassiens et leurs affluents (Figure 7). Les limites des crues sont dépassées d'environ 1,5 m au maximum. La menace de crues est plus faible dans l'Oberland, parce que le scénario suppose une intense fonte des neiges dans les régions de basse et de moyenne altitude, mais non pas dans les zones élevées. Il faut surtout prévoir des débits de pointe en provenance de la Sarine et des bassins versants du Plateau et du Jura. La limite des crues du lac de Bienne sera dépassée pendant 30 jours au total, tandis que les lacs de l'Oberland seraient épargnés par les hautes eaux.

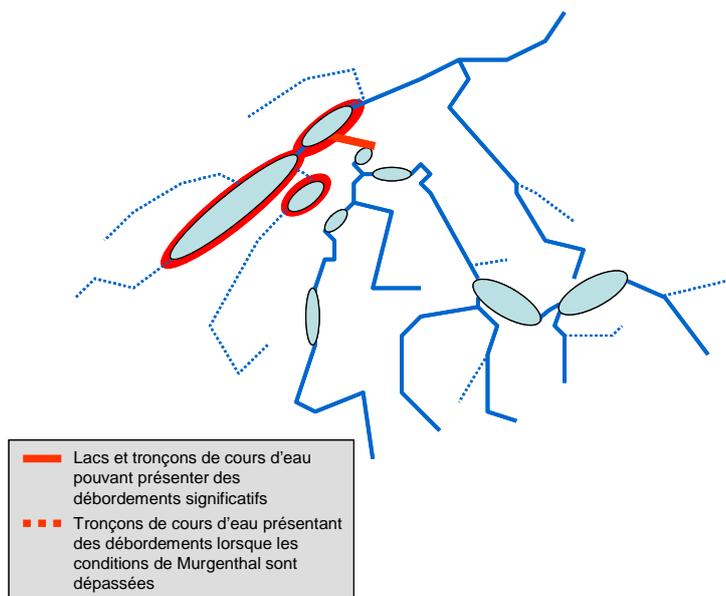


Figure 7 Zones de crues de type C (précipitations et fonte des neiges)

Classement des événements

Les scénarios retenus font en premier lieu apparaître la possibilité d'événements extrêmes pour l'Aar et les lacs jurassiens. On peut également simuler des pointes de débits extrêmes dans les divers bassins versants partiels. Mais la conception des scénarios n'est pas telle que des débits maximaux surviennent sur tous les tronçons de cours d'eau. En particulier dans les bassins versants partiels de petite taille, qui réagissent plutôt aux précipitations d'orage, il se peut que les débits maximaux simulés soient nettement en deçà des valeurs maximales effectivement mesurées (p. ex. Singine, Ilfis).

Une comparaison entre les quantités d'eau déversées dans le lac de Thoune selon les scénarios et les quantités d'eau déterminées statistiquement montre que, pour toutes les durées (1, 3, 5 et 10 jours), plusieurs scénarios dépassent nettement le débit attendu statistiquement tous les 1000 ans. A cet égard, il faut considérer que les principaux affluents mesurés sont très importants, puisqu'ils approchent également le débit du millénaire. Les débits simulés dans les scénarios déterminants sont d'environ 10-20 % supérieurs aux valeurs maximales mesurées. Par contre, les autres débits simulés dans les scénarios restent pour toutes les durées inférieurs aux débits attendus statistiquement tous les 100 ans. S'agissant des cours d'eau qui se jettent dans les lacs jurassiens, les débits simulés en cas d'événement du type B atteignent ou dépassent les quantités statistiquement prévues une fois par millénaire, alors qu'elles leur demeurent inférieures dans le cas d'événements des autres types.

6

Effets

Voies de communication

Les inondations à large échelle et les processus d'érosion locaux peuvent endommager d'importantes voies de communication et couper des vallées entières du reste du monde. Dans l'Oberland bernois, les événements des types A et B peuvent interrompre des lignes ferroviaires et des routes importantes. Les accès aux vallées de la Lütschine ou dans le Haut-Simmmental peuvent être coupés par l'érosion latérale. L'importante ligne du Lötschberg, qui assure le transit à travers les Alpes, suit la Kander sur

de longs tronçons. Des interruptions de ligne assez longues sont possibles en raison d'érosions latérales. Dans le secteur du Bodeli, à Interlaken, des lignes de communication locales, régionales et suprarégionales importantes peuvent être inondées. Le Bodeli serait pratiquement infranchissable par voie de terre.

En aval du lac de Thoune, la ligne ferroviaire Thoune – Berne et l'autoroute peuvent être submergées près de Münsingen. Le trafic régional et suprarégional en serait fortement perturbé. En outre, tous les ponts de l'Aar entre Steffisbourg et Berne ne seraient plus accessibles (voies d'accès inondées).

En cas d'événement de type A, des voies de communication supplémentaires pourraient être endommagées au long de l'Emme. Il n'est pas possible d'exclure complètement l'exposition d'axes de communication importants comme l'A1 Berne – Zurich et le nouveau tronçon Mattstetten – Rothrist (sous-passage de l'Emme) en cas d'inondation à large échelle. Le trafic national s'en trouverait massivement affecté. La ligne ferroviaire en direction de l'Emmental serait interrompue à la hauteur d'Oberburg et de Steinhof.

Dans la région du lac de Bienne, les voies de communication pourraient être fortement affectées avant tout par les inondations liées aux événements des types B et C. Sur la rive nord du lac, plusieurs tronçons de la route du lac, de la semi-autoroute et de la voie ferroviaire seraient interrompus. Il ne serait également plus possible de franchir le canal de la Thielle, toutes les routes étant inondées entre les lacs de Neuchâtel et de Bienne.

Espace habité

En cas d'événement de type A ou de type B, selon la simulation, le potentiel de dommages dans les zones inondées correspondrait à l'inondation d'environ 5000-5500 habitations, ne serait-ce qu'au long des principaux cours d'eau et des lacs étudiés. S'y ajoutent les bâtiments qui seraient touchés par des cours d'eau (p. ex. Chirel, Zulg) et des processus (p. ex. laves torrentielles, coulées de boue) dont l'étude ne tient pas compte. Il y a lieu de penser qu'au moins 7500 – 8000 bâtiments d'habitation seraient affectés au total. En tablant sur 10 habitants par bâtiment (maison familiale ou immeuble locatif), il en résulte que près de 80 000 personnes seraient directement concernées par un tel événement.

L'évaluation relative aux objets spéciaux et aux infrastructures montre que le nombre total d'objets susceptibles d'être inondés en cas d'un événement de type A ou de type B serait d'environ 130. En l'occurrence, il faut mentionner spécialement divers hôpitaux et homes pour personnes âgées, ainsi que plusieurs entreprises inscrites au cadastre des risques, comme la raffinerie de Cressier. Selon les circonstances, il faut prévoir que de telles inondations causent d'importants dommages subséquents à l'environnement.

7

Conclusions

Défis

Lors d'un événement de type A (2-3 jours de fortes précipitations), les débits et le niveau des lacs peuvent rapidement monter. La crue d'août 2007 l'a clairement illustré. Une telle situation requiert un système d'alerte optimal et une réaction rapide des autorités. Pour les événements du type B (14-30 jours de précipitations) et du type C (précipitations et fonte des neiges), la maîtrise de la situation implique de gérer simultanément les défis importants posés par les forts débits, le niveau élevé des

lacs et la longue durée de l'événement). La durée prolongée de l'événement accroît massivement les problèmes. Par exemple, l'impact est important si, dans la région du lac de Biemme, une raffinerie, des installations de captage d'eau ou des installations d'épuration des eaux usées demeurent 25 – 30 jours sous l'eau.

Le nombre de personnes directement concernées requerra des évacuations de grande envergure. Dans le cas d'événements persistant assez longtemps, en particulier, des cercles encore bien plus larges de la population dépendront de l'assistance de la protection civile en raison d'infrastructures défectueuses (approvisionnement en eau et en énergie, traitement des eaux usées).

Dans l'Oberland bernois en particulier, la rupture des liaisons de communication peut interdire l'accès par voie de terre à des vallées entières. Pour de telles éventualités également, il s'agit de concevoir des systèmes d'approvisionnement de substitution.

Exigences posées à la gestion des risques et à l'organisation en cas de catastrophe

Les événements extrêmes tels que ceux décrits dans l'étude sur les crues extrêmes posent de très hautes exigences à la gestion des risques et à l'organisation en cas de catastrophe. Si l'on considère l'évolution de ces dernières années, mais aussi la forte fréquence des crues catastrophiques au dix-neuvième siècle, et compte tenu des prévisions liées au réchauffement climatique, il y a lieu de prévoir que la probabilité de tels événements s'accroisse.

Afin d'être en mesure de maîtriser de telles situations, nous devons développer des stratégies d'action correspondantes, par exemple en vue de protéger la population ou pour assurer le service de régulation. La présente étude met à disposition des bases utiles à l'élaboration de telles stratégies, qui doivent permettre d'éviter qu'une crue extrême dans le bassin versant de l'Aar ne prenne le canton au dépourvu.

Pour le canton de Berne, la maîtrise d'événements extrêmes requiert donc une organisation en cas de catastrophe disponible, opérationnelle pendant des semaines et capable de procéder à une évaluation continue de la situation sur l'ensemble du territoire cantonal. Ces exigences nécessitent des ressources en personnel et des lignes de communication conséquentes, qui doivent rester intactes et fournir une capacité de transmission suffisante même en cas de catastrophe.