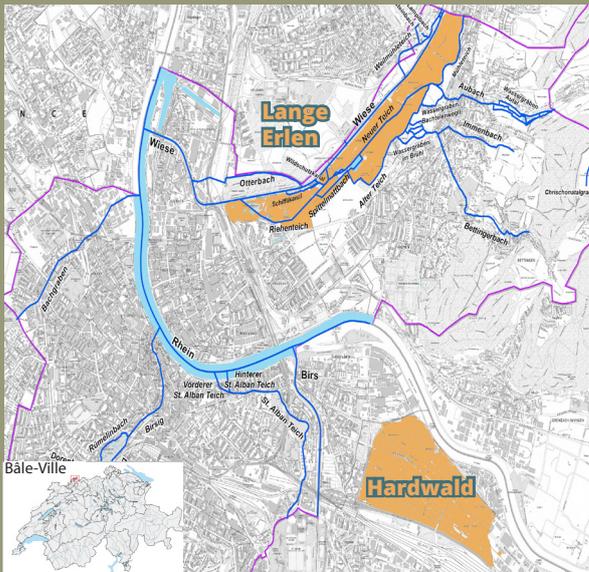


Changement climatique en Suisse

# Effets des risques climatiques combinés sur les systèmes urbains



## FAST FACTS



120 ans de mesures



18 modèles climatiques



11 entretiens



8 experts



2 systèmes



1 ville

## De quoi s'agit-il?

*Est-il possible que des années consécutives de canicule et de sécheresse prolongées poussent, dans des cas extrêmes, à la limite de leurs capacités aussi bien la santé humaine que l'approvisionnement en eau ou en énergie ou d'autres sous-systèmes importants d'une ville?*

Pour répondre à cette question, les chaînes de processus associées à ces événements météorologiques extrêmes combinés ont été analysées à l'exemple de la ville de Bâle. Les systèmes urbains sont particulièrement exposés au risque d'événements extrêmes, car un grand nombre de personnes, d'infrastructures et de systèmes (d'approvisionnement) critiques sont concentrés dans un espace très restreint. Les événements extrêmes peuvent donc déclencher ou renforcer des réactions en chaîne. La disponibilité de l'eau est un élément clé en cas de canicule et de sécheresse, et elle est fortement liée à d'autres systèmes tels que l'énergie, les transports et l'industrie. C'est pourquoi les conséquences possibles sont présentées ici à titre d'exemple pour les systèmes fortement interactifs que sont l'eau et l'énergie.

La modélisation quantitative d'événements extrêmes sans précédent combinés et celle de leurs effets est très incertaine. Dans le but d'identifier les interactions critiques des systèmes importants et les éventuels „points aveugles“, cette étude de cas a combiné des informations quantitatives issues de modèles climatiques avec des entretiens semi-structurés menés avec des spécialistes de l'administration et des scientifiques afin d'élaborer des scénarios et des chaînes d'événements plausibles. Les résultats clés sont présentés et expliqués ci-dessous.



## Scénarios climatiques et hydrologiques

Cette étude a examiné les effets possibles de plusieurs périodes de chaleur et de sécheresse successives, telles qu'elles sont plausibles pour l'avenir selon les scénarios climatiques suisses CH2018 : c'est-à-dire des températures estivales de +5°C par rapport à la période de référence 1981-2010 et 40% de précipitations en moins. Pour le débit du Rhin, on a calculé en conséquence des débits d'environ 55% par rapport à la norme (tableau 1).



## Eau potable

**Quantité:** Avec l'infiltration des eaux souterraines du Rhin et de la Wiese dans le Hardwald et les Langen Erlen, la ville de Bâle dispose depuis de nombreuses années d'un système fiable (illustration 1). Le prélèvement de 3,4-5,2 m<sup>3</sup>/s correspond à bien moins de 1% du débit moyen du Rhin (1061 m<sup>3</sup>/s). Le tableau 1 montre les débits restants du Rhin dans le scénario de sécheresse extrême. Ces faibles débits sont encore bien supérieurs aux quantités nécessaires pour le prélèvement. Même en cas d'étiage extrême des fleuves, l'approvisionnement en eau potable est garanti malgré le fort recul prévu de l'eau de fonte des glaciers. Puisque l'on travaille exclusivement avec de l'eau souterraine, la capacité du réservoir du système d'approvisionnement est relativement faible et ne représente qu'environ 8 heures. Pour couvrir les pics de la demande, la capacité des pompes d'eau souterraine doit donc être suffisamment élevée.

**Température:** Alors que les températures de l'eau du Rhin supérieures à 25°C sont aujourd'hui très rares (11 jours lors de l'année extrême 2018), il faut s'attendre à ce que cela se produise 30 à 50 jours par an lors de futurs événements extrêmes. Cela peut entraîner des pics de besoins nettement plus élevés, car le prélèvement d'eau du Rhin à des fins de refroidissement n'est plus autorisé à ces températures, ce qui rend certaines entreprises industrielles tributaires de l'eau potable pour le refroidissement. Le changement climatique pourrait même avoir un effet refroidissant sur les eaux souterraines, en raison des décalages saisonniers des précipitations et de l'augmentation des eaux de fonte. Ceci plaide également contre le fait que la hausse des températures de l'eau soit un problème pour l'approvisionnement en eau de la ville de Bâle.

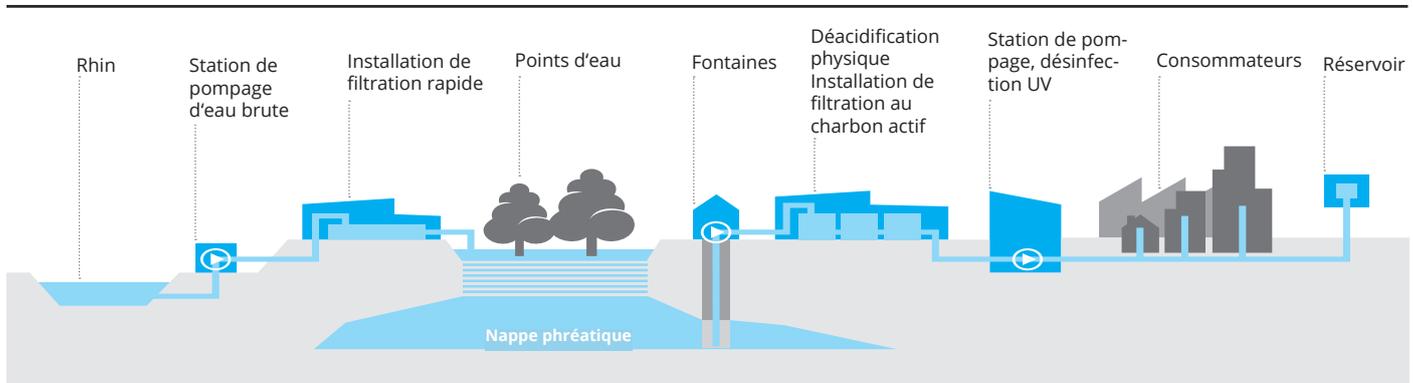


Figure 1: Le système d'eau potable de Bâle-Ville avec infiltration de l'eau du Rhin dans la nappe phréatique. Source: IWB

**Pollution:** Le risque de pollution de l'eau augmente en période d'étiage, car la dilution est alors plus faible en cas d'apport de substances nocives. En cas de forte pollution, le prélèvement d'eau pour l'infiltration doit être temporairement suspendu. Pour un cours d'eau comme le Rhin, des pollutions de longue durée sont toutefois peu probables. Ce n'est que si la source de pollution ne peut pas être identifiée pendant une période prolongée ou en cas de nombreuses petites sources de pollution que des problèmes pourraient survenir dans les approvisionnements en eau du Rhin.

Dans le scénario étudié d'un étiage extrême du Rhin et de la Wiese (ou éventuellement d'un assèchement de la Wiese), l'approvisionnement en eau ne pourrait probablement être menacé que par les conditions exceptionnelles supplémentaires suivantes (cf. Worst case 1-3 dans la figure 2):

- Worst case 1: Pollution prolongée de l'eau du Rhin et de la nappe phréatique.
- Worst case 2: Pollution du Rhin et pics de consommation importants (les besoins supplémentaires ne peuvent pas être couverts par des prélèvements d'urgence d'eau flu-

viale).

- Worst case 3: Interruption de l'approvisionnement en énergie pour les pompes (capacité du réservoir de quelques heures), surtout en relation avec les pics de demande.

## Écologie et transport

Pour les écosystèmes terrestres et d'eau douce, il faudra s'attendre à des conséquences importantes lors de l'événement étudié. De faibles débits combinés à des températures élevées affecteraient fortement la population de poissons et d'autres organismes aquatiques. La forêt de Hardwald a déjà dû être fermée lors de l'événement de 2018 et serait fortement menacée, mais l'approvisionnement en eau serait peu touché. Dans les Langen Erlen, la présence d'arbres intacts est plus importante pour l'infiltration, mais la végétation y est aussi plus résistante à la sécheresse.

Le secteur des transports serait également fortement touché. Lors de l'événement étudié, il faudrait s'attendre à des restrictions ou à des interruptions de la navigation sur le Rhin malgré l'approfondissement du profil du fleuve.

Tableau 1: Débits du Rhin présents et projetés

Débit du Rhin (m <sup>3</sup> /s)	Valeurs moyennes mesurées 1981-2010	Débit du Rhin pendant le printemps/été 2018	Années de sécheresse 2021-2100
Août	1130	622	486
Octobre	894	465	500
Novembre	848	407	620

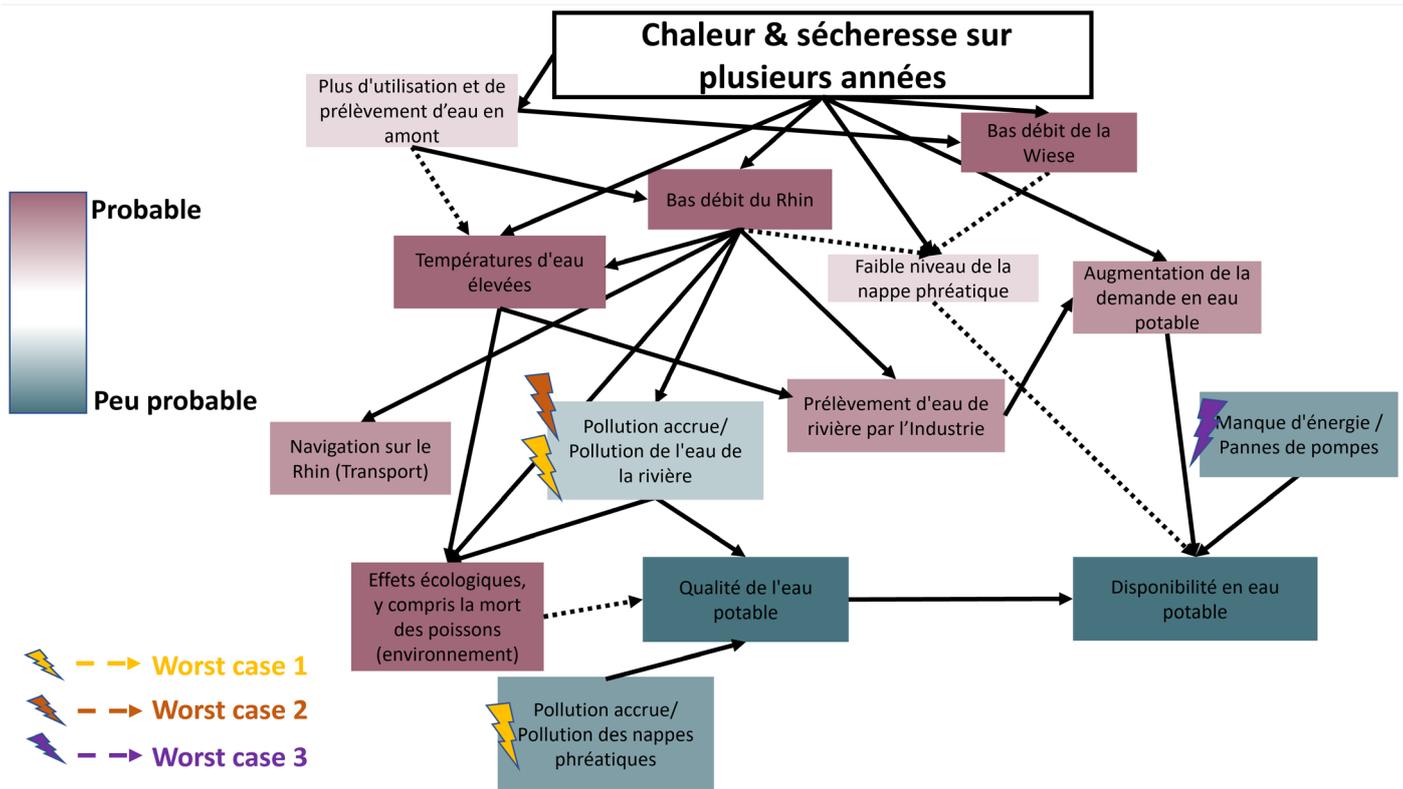


Figure 2: Cascades d'événements possibles dans le système de l'eau lors d'un événement de chaleur et de sécheresse de plusieurs années. Les couleurs des processus indiquent la probabilité d'occurrences estimées. Les pires cas mentionnés dans le texte sont représentés par des éclairs. Les flèches en pointillés indiquent des effets faibles, incertains ou secondaires.

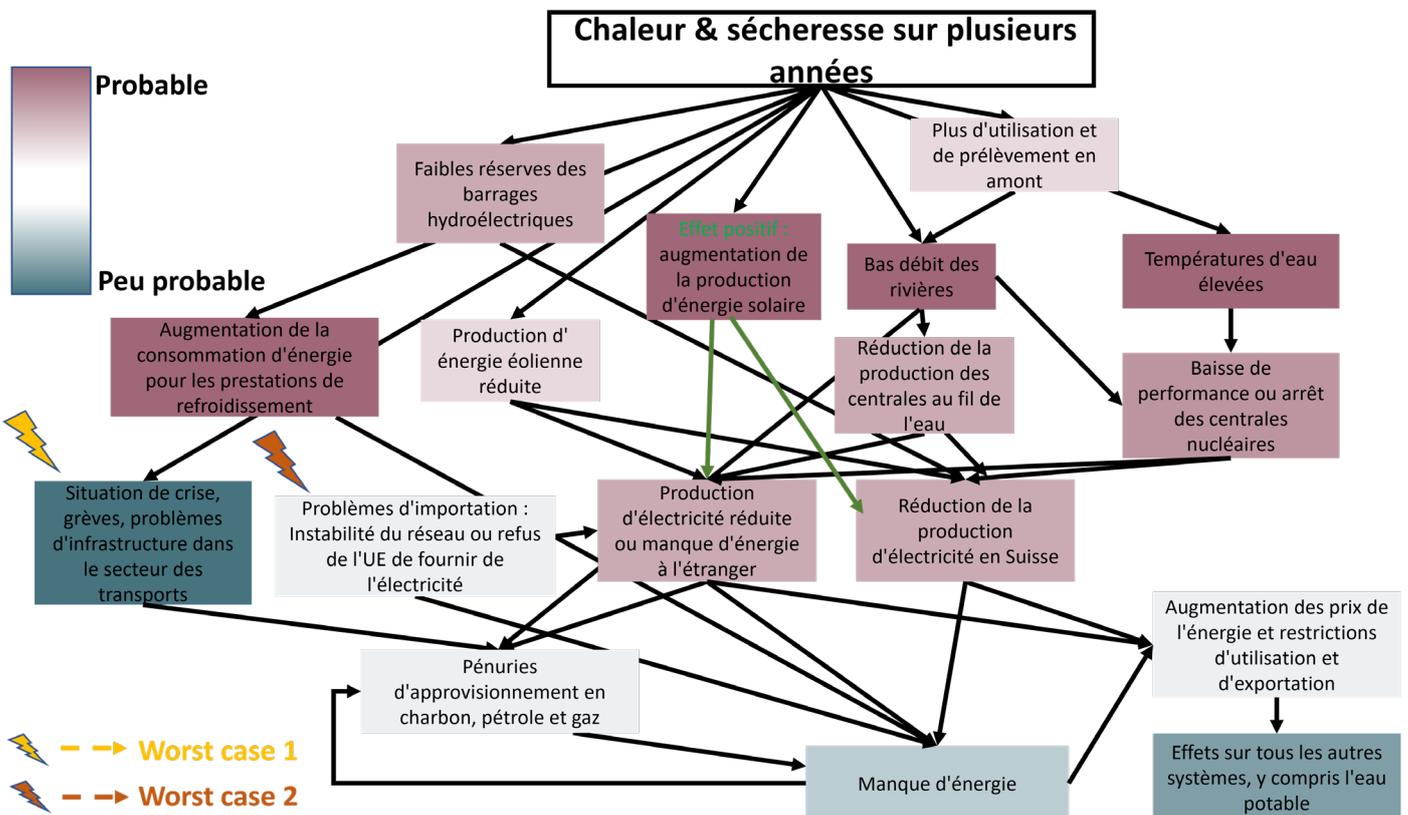


Figure 3: Cascades d'événements possibles dans le système énergétique lors d'un épisode de chaleur et de sécheresse de plusieurs années. Les couleurs des processus indiquent la probabilité d'occurrences estimées. Les pires cas de figure mentionnés dans le texte sont indiqués par des éclairs.



## Approvisionnement en énergie

Un événement combiné de chaleur et de sécheresse peut affecter le secteur de l'énergie à travers différentes chaînes de processus (figure 3). En raison des fortes interconnexions et des variations saisonnières, les pénuries sont plus probables que pour l'approvisionnement en eau. Comme la chaleur et la sécheresse se produisent toujours à grande échelle, les pénuries toucheraient probablement toute la Suisse. Toutefois, des déficits régionaux d'infrastructures pourraient aggraver le problème. En combinaison avec des événements indépendants (voir les pires cas 1 et 2 de la figure 3), l'approvisionnement en énergies fossiles et l'importation d'électricité peuvent être menacés. Les événements indépendants possibles sont les suivants:

- Worst case 1: Situation de crise, grèves, problèmes d'infrastructure dans le secteur des transports.
- Worst case 2: Problèmes d'importation: Instabilité du réseau ou refus de l'UE de fournir de l'électricité.

Le système énergétique étant fortement lié à d'autres systèmes, il faut s'attendre à ce que de nombreux domaines soient fortement perturbés en cas de pénurie d'énergie. Dans un tel cas extrême, une pénurie simultanée d'eau potable serait plausible en raison de la faible capacité des réservoirs à Bâle (voir ci-dessus).

## Options d'adaptation

### Eau potable

L'analyse a montré que le système existant d'approvisionnement en eau potable par infiltration d'eau de rivière constitue déjà une mesure d'adaptation efficace pour garantir la sécurité de l'approvisionnement, même en cas de chaleur et de sécheresse prolongées. Certaines vulnérabilités du système ont toutefois été identifiées, qui peuvent conduire à des scénarios «Worst case» en cas d'événements combinés. En prévision de ces faiblesses potentielles, les options d'adaptation et d'urgence suivantes ont été proposées:

- Introduire des tarifs de pointe plus élevés à titre préventif

- Prélèvement d'eau directement dans le Rhin
- Coordonner l'achat d'eau potable et d'eau souterraine par les particuliers (certaines entreprises industrielles utilisent leurs propres puits d'eau potable pour le refroidissement)
- Tarif flexible de l'eau et appels à l'économie d'eau
- Amélioration de la filtration du carbone et de la détection précoce des sources de pollution

### Écologie et transport

Les secteurs du transport fluvial et le milieu écologique ont déjà été touchés ces dernières années par les épisodes de chaleur et de sécheresse. Des mesures d'adaptation ont également été proposées pour ces secteurs:

- Choix des espèces d'arbres et promotion de la régénération des forêts
- Identification de substrats arborés appropriés
- Protection des zones d'eau courante plus froides par l'apport d'eau souterraine
- Retenir l'eau de fonte pour équilibrer les quantités d'eau
- Utilisation de bateaux plus légers en cas des périodes d'eaux basses
- Approfondissement du chenal pour la navigation

### Énergie

Dans le domaine de l'énergie, les mesures d'adaptation possibles sont plus étendues et devraient être mises en œuvre non seulement au niveau de la ville de Bâle, mais aussi à plus grande échelle. Les plans correspondants devraient être élaborés par tous les fournisseurs d'énergie de Suisse:

- Appels à la population pour économiser l'électricité (déjà fait en partie)
- Restrictions chez les consommateurs
- Contingement, par ex. seuls 70% de la quantité d'électricité habituelle peuvent être utilisés.
- Mise hors tension des lignes. Par exemple, au rythme de 4h (arrêt) / 8h (marche).
- A Bâle-Ville, les mesures prévues pour améliorer l'infrastructure sont encore en cours d'élaboration.

## Take home messages:

- Le transport et les milieux écologiques sont les secteurs les plus touchés en cas d'étiage extrême.
- L'approvisionnement en eau potable est garanti même en cas d'étiage extrême et de pics de consommation, du moins tant qu'aucune autre influence extérieure extrême ne vient perturber le système.
- Les «Worst case» scénarios, qui concernent plusieurs systèmes, peuvent toutefois avoir une influence négative sur l'approvisionnement en eau, par exemple une pollution prolongée et des pics de consommation élevés ou des interruptions dans l'approvisionnement en énergie.
- Dans le domaine de l'énergie, ce sont surtout les combinaisons avec des influences extérieures au canton qui sont importantes, par exemple les problèmes d'importation et les situations de crise.

## A propos des auteurs/données de contact:

### Veruska Muccione

Responsable de l'étude de cas, Institut de Géographie, Université de Zurich, veruska.muccione@geo.uzh.ch

### Raphael Neukom

Université de Fribourg et Université de Zurich

### Nadine Salzmann

Université de Fribourg et WSL - SLF / Centre de recherche CERC, Davos

### Christian Huggel, Saied Ashraf

Vaghefi et Esther Gerber

Université de Zurich

### Carl Love Mikael Raman Vinna

Institut fédéral de recherche Eawag

### Sabine Kleppek

Ville de Baden

### Vincent Roth

Division Climat, OFEV