

# ANTHROPOCÈNE : VIVRE AVEC LE RISQUE

TEMPÉRATURES RECORD, INCENDIES GÉANTS, ÉBOULEMENTS, TEMPÊTES, SÉCHERESSE : L'ANNÉE 2023 A ÉTÉ MARQUÉE PAR **UNE SUCCESSION INÉDITE DE CATASTROPHES NATURELLES**. DES RISQUES CONTRE LESQUELS ON PEUT SE PRÉMUNIR.

Dossier réalisé par Anton Vos et Vincent Monnet

Le quai de la ville d'Eden, sur la côte sud-est de l'Australie, en proie à de gigantesques incendies en janvier 2020.

**T**empératures record aux quatre coins de la planète, incendies géants au Canada, tremblements de terre au Maroc et en Afghanistan, menace d'une gigantesque éruption volcanique à Naples, glissement de terrain à Brienz, tempête à la Chaux-de-Fonds : l'année 2023 a été marquée par une succession quasiment ininterrompue de crises et de catastrophes naturelles. Accentués par l'activité humaine et le changement climatique, ces risques font désormais partie de notre quotidien. Mais il existe de nombreux moyens pour s'en prémunir ou, du moins, en atténuer les conséquences. Dans ce registre, la Suisse s'est d'ailleurs dotée d'une stratégie que de nombreux pays lui envient, comme l'explique Markus Stoffel, professeur à l'Institut des sciences de l'environnement et responsable de la chaire « Climate Change and Risks in the Anthropocene ». Entretien.

**Campus :** Vous dirigez une équipe qui compte près de 40 chercheurs et chercheuses afin d'étudier l'impact et les risques liés au changement climatique durant l'anthropocène. Ce terme fait-il consensus auprès de la communauté scientifique ?

**Markus Stoffel :** Non, pas tout à fait. La communauté scientifique accepte l'idée que nous sommes entrés dans une ère caractérisée par le fait que les activités humaines ont une influence sur l'environnement et notamment sur

le climat. Ce qui est discuté, par contre c'est la question de savoir quel site permet d'affirmer que l'anthropocène a commencé à tel ou tel moment. Certains considèrent que nos sociétés ont commencé à modifier leur environnement dès l'âge de pierre, en brûlant des forêts, ce qui a induit des glissements de terrain et l'apport de sédiments dans les lacs. D'autres estiment que l'anthropocène ne débute qu'avec la Révolution industrielle, parce que c'est à ce moment que la pollution devient plus massive et que les températures commencent à s'élever.

#### **Où placez-vous le curseur, personnellement ?**

L'approche que nous privilégions avec mon équipe est plutôt large puisque nous nous intéressons à la fois à des événements qui peuvent remonter à un passé lointain, à ce qui se passe actuellement et à ce qui pourrait arriver demain. Il s'agit donc d'un travail de reconstitution, d'observation et de simulation. L'idée est d'obtenir une image globale de la façon dont l'environnement a réagi depuis que l'être humain a commencé à jouer avec les paramètres du système (c'est-à-dire au Paléolithique), et ce, même si les changements survenus à cette époque étaient moins abrupts que ceux que l'on vit depuis 200 ans.



## Markus Stoffel

Professeur ordinaire au Département des sciences de la Terre et Département F.-A. Forel des sciences de l'environnement et de l'eau, Faculté des sciences

**Formation :** Après une thèse de doctorat au sein du Département de géosciences de l'Université de Fribourg (2005), il réalise une thèse d'habilitation à l'Institut des sciences géologiques de l'Université de Berne (2011).

**Parcours :** Professeur ordinaire à l'Institut des sciences de l'environnement de l'UNIGE dès 2017, il est également le fondateur et le directeur de dendrolab.ch, un laboratoire de recherche en dendrochronologie spécialisé dans l'analyse des processus climatiques, écologiques et géomorphologiques. Il est membre du comité d'experts pour les dangers naturels Suisse (FAN) et il préside depuis 2020 la commission de la recherche du Parc national suisse.

### L'année 2023 a connu les mois d'été les plus chauds jamais enregistrés sur la planète ainsi qu'une hausse record de la température des océans. Constitue-t-elle un point de bascule ?

C'est effectivement une année très spéciale puisque d'après les chiffres fournis par l'Organisation météorologique mondiale et d'autres organismes qui effectuent un suivi des températures, nous avons atteint pour la première fois le seuil de 1,5 °C de réchauffement par rapport au début de l'ère industrielle (même s'il s'agit d'une année ponctuelle et non d'une moyenne). Dans le cadre d'un congé scientifique, j'ai passé quatre mois en Alaska cet été avec un thermomètre qui est monté jusqu'à 28, voire 30 degrés centigrades. La canicule n'est pas le seul domaine dans lequel nous voyons se réaliser des scénarios que les rapports du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) avaient plutôt prévus pour la fin du siècle.

#### Pouvez-vous préciser ?

La quantité de surfaces brûlées par les feux de forêts a atteint un niveau sans précédent. Les glaciers ont à nouveau reculé de façon effrayante et cela, même dans un pays comme la Suisse considéré comme le château d'eau de l'Europe, fait peser un risque latent sur la disponibilité de cette ressource. Cet été, on a par ailleurs vu apparaître dans le lit de l'Aar des bancs de sable qui n'avaient probablement jamais été émergés de mémoire d'homme. Et la déstabilisation des montagnes s'est elle aussi accélérée, ce qui s'est traduit par plusieurs chutes de pierres mortelles dans les Alpes, des coulées de laves torrentielles assez importantes, l'interruption des activités de certaines stations de ski, dont celle de Fiesch-Eggishorn ou la fermeture, probablement définitive, de la piste longeant le glacier d'Aletsch.

#### Cette situation peut-elle être imputable à la présence d'« El Niño » dans l'océan Pacifique ?

Cette inversion des courants océaniques provoque effectivement une hausse de la température du Pacifique dont l'influence se fait sentir sur quasiment toute la Terre, entraînant une hausse générale des températures. La présence d'*El Niño* est donc incontestablement un facteur aggravant, mais elle n'explique pas tout.

### Que peut-on faire pour se prémunir contre les risques d'origine naturelle ou liés au changement climatique ?

Il faut avant tout veiller à limiter autant que possible le réchauffement climatique. Et il faut également adopter une approche intégrée pour faire face aux risques que cela induit. C'est-à-dire qu'il faut prendre en considération l'ensemble des dangers auxquels une population donnée est exposée et ne pas traiter ceux-ci de manière individuelle. Dans ce domaine, la Suisse a très bien fait son travail puisque c'est un des premiers pays au monde à s'être doté d'un programme de gestion des risques allant dans ce sens.

## LA SUISSE EST UN DES PREMIERS PAYS AU MONDE À S'ÊTRE DOTÉ D'UN PROGRAMME DE GESTION DES RISQUES BASÉ SUR UNE APPROCHE INTÉGRÉE

#### Qu'est-ce que cela signifie concrètement ?

Ce qui est assez unique, c'est que chaque commune a l'obligation de répertorier et de cartographier l'ensemble des dangers qui peuvent toucher son territoire, qu'il s'agisse d'inondations, d'avalanches, de glissements de terrains, de chutes de pierres ou encore de laves torrentielles [une avalanche de matériaux composés d'un mélange d'eau, de sédiments fins, d'éléments rocheux, de blocs parfois énormes, d'arbres, de graviers se déplaçant à très grande vitesse, ndr]. Ces divers dangers sont ensuite classés en fonction de la fréquence et de l'intensité avec laquelle ils sont censés survenir.

Lorsqu'on se trouve dans une zone qui est frappée tous les trente ans ou moins en moyenne par un même type d'événement, toute construction est interdite. Dans une zone qui est affectée tous les trente à cent ans, les constructions sont autorisées sous certaines conditions. Par exemple, si une maison est située sur un versant exposé à des chutes de pierres, la porte d'entrée devra se situer sur le côté aval de la pente afin d'éviter que des cailloux n'entrent par là. Il existe aussi des réglementations portant sur la dimension des fenêtres ou imposant l'usage de certains matériaux comme le béton armé.

#### Qu'en est-il pour les événements qui surviennent plus rarement ?

Lorsque le temps de retour se situe entre 100 et 300 ans, on se contente généralement d'indications. La population est informée de l'existence du danger, et c'est tout.

### **Quelles sont les autres décisions que les pouvoirs publics peuvent prendre sur la base de ces informations ?**

Sur la base des données portant sur les dangers auxquels elle est exposée, chaque commune doit dresser une carte synoptique qui résume tout ce qui peut arriver à un endroit donné. À partir de là, la Suisse a développé un système d'évaluation du risque que je trouve très bien pensé.

### **Comment fonctionne-t-il ?**

D'une part, on évalue de manière très précise la valeur des biens et/ou des infrastructures qui peuvent être touchées par une catastrophe naturelle : combien vaut telle maison, telle route, combien de voitures circulent sur tel tronçon, à quel moment et avec combien de personnes à bord, à quelle vitesse le train traverse-t-il la zone concernée, etc. De l'autre, on calcule la probabilité que tel événement survienne à tel endroit et qu'il endommage telle habitation, telle route, telle voie de chemin de fer ou qu'il blesse ou tue tant de personnes. La combinaison de ces informations nous fournit un outil fondamental pour la gestion des risques et la planification du territoire. Il est si performant que la Suisse est souvent sollicitée par d'autres pays en matière de gestion des catastrophes naturelles et que le modèle que nous avons mis sur pied est aujourd'hui adopté par un nombre croissant d'autres États.

### **Lesquels ?**

Notamment le Japon, le Groenland ou l'Autriche qui ont récemment envoyé des délégations en Suisse pour s'informer sur notre approche.

### **Avec quel type d'attentes ?**

Historiquement, les gouvernements de ces pays ont souvent agi comme des pompiers, en réagissant une fois que les catastrophes étaient survenues. Les Japonais, par exemple, sont très bons lorsqu'il s'agit de stabiliser des versants. Ils sont capables d'injecter des millions de mètres cubes de béton pour consolider un pan de montagne. Ils sont aussi très au point dans tout ce qui touche au processus d'évacuation, mais, ce qu'ils n'ont pas fait, ce sont les cartes des dangers. Ils ne connaissent donc pas forcément les zones qui risquent d'être affectées par une catastrophe naturelle, celles qu'il faudra évacuer si cela se produit, celles qui sont sûres et celles qui ne le sont pas.

### **En va-t-il de même pour le Groenland ?**

Le Groenland fait environ 40 fois la taille de la Suisse avec une population de quelque 55 000 habitants. La

## **« LA DÉCISION D'INTERVENIR OU NON SE FAIT EN FONCTION D'UNE PESÉE D'INTÉRÊTS ENTRE LES COÛTS ENGENDRÉS ET LES BÉNÉFICES ATTENDUS. »**

problématique est donc radicalement différente. Ce pays est surtout préoccupé par la fonte du pergélisol et le recul des glaciers qui posent énormément de problèmes. Problèmes qu'il ne sait pas trop par quel bout attaquer.

### **La pratique suisse implique-t-elle des interventions directes sur l'environnement afin de prévenir des risques ?**

Oui, selon une logique très pragmatique. Chaque risque est traduit en un montant monétaire qui s'exprime en francs suisses par année. Les cartes établies au niveau communal montrent par ailleurs de façon très claire les endroits qui souffrent d'un déficit de protection. À partir de là, la décision d'intervenir ou non se fait en fonction d'une pesée d'intérêts entre les coûts engendrés et les bénéfices attendus.

### **Pouvez-vous préciser ?**

Imaginons qu'un village ou qu'un segment de route est susceptible d'être inondé. Quelle est la valeur des infrastructures qui risquent d'être endommagées, combien coûterait la construction d'une digue, par exemple, et combien de temps tiendrait-elle ? Si le bénéfice apporté par cette construction est supérieur au coût engendré par l'événement, la solution est adoptée; sinon, on y renonce et on cherche une autre solution. Et dans le cas où une maison isolée est menacée d'une destruction imminente, il est parfois plus simple de demander à ses habitants de déménager.

### **Cette procédure d'analyse est-elle systématique ?**

Non. La Confédération et les cantons ne disposant pas de moyens illimités, la priorité est donnée aux projets qui présentent le meilleur rapport coût/bénéfice. De plus, il n'est pas toujours évident de prouver qu'un risque existe et de le localiser précisément.



KEYSTONE/URIS FUELLER

### C'est-à-dire ?

Pour les phénomènes d'ampleur, comme les crues, il n'y a pas de difficulté majeure. Le débit des cours d'eau est surveillé de manière régulière et on peut donc définir les phénomènes qui sortent de la normalité par des approches statistiques. Même chose pour les avalanches, qui sont facilement repérables, qui surviennent souvent sur les mêmes sites et qui sont bien documentées. Pour les chutes de pierres, par contre, on dispose généralement de très peu de données, ce qui rend très difficile l'identification de la source de l'éboulement. Un caillou de la taille d'un poing qui chute de plusieurs dizaines de mètres est capable de traverser le toit d'une voiture et de tuer la personne qui se trouve à l'intérieur. Mais c'est quelque chose qui est très difficile à modéliser parce que cela peut arriver n'importe quand sur n'importe quelle route de montagne. Et on ne peut raisonnablement pas bétonner ou installer des filets de protection sur tous les versants qui y seraient sujets.

### On n'a donc pas d'autre choix que de se résoudre à vivre avec ce type de risque ?

Idealement, pour avoir une idée plus précise de la situation, il faudrait que les cantonniers notent systématiquement sur le cadastre communal tous les cailloux qu'ils retrouvent sur les routes, ce qu'ils commencent d'ailleurs à faire. Mais c'est un travail assez fastidieux et trop souvent négligé. Pour y remédier, on peut aussi interroger le

passé, notamment grâce à la dendrochronologie, ce qui est ma spécialité.

### Comment cela ?

En se promenant dans une forêt où ont eu lieu des chutes de pierres par le passé, on peut assez facilement repérer les arbres qui ont reçu des impacts. En prélevant des carottes sur ces spécimens et en analysant leurs cernes, on peut identifier les blessures qu'ils ont subies et les dater de manière précise. En procédant de la sorte, nous sommes parvenus à identifier près de 1000 événements sur une période de cent ans pour une zone donnée alors que, jusque-là, on n'en avait recensé que cinq ou six. Ensuite, on peut déterminer l'aléa et le traduire en risque sur un tronçon particulier de route et même calculer le nombre de cailloux par mètres courants, ce qui au final permet d'obtenir une analyse très fine de ce type de risque.

### Le changement climatique a-t-il une influence sur la gestion des dangers naturels ?

C'est une question à laquelle l'Office fédéral de l'environnement cherche actuellement une réponse. Les premières cartes des dangers qui servent à l'aménagement du territoire ont été établies dans les années 1950. Elles sont restées relativement simples jusqu'au changement de la législation sur l'eau et les forêts survenu dans les années 1990 qui les a rendues obligatoires dans l'ensemble du

En novembre 2012, une chute de pierres interrompt la ligne ferroviaire du Gothard entre Erstfeld et Goeschenen dans le canton d'Uri. C'est la troisième fois qu'un tel incident se produit au même endroit en l'espace d'un an.

pays et pour tous les aléas. Depuis, elles sont révisées par des experts tous les quinze à vingt ans, selon les cas. Au cours de ce processus, le choix de tel ou tel scénario va dépendre de la manière dont ces praticiens vont évaluer les données disponibles. Or, si précis soit notre système, des incertitudes demeurent. Et selon moi, cette zone grise est suffisamment importante pour absorber la plupart des variations liées directement aux changements climatiques. Certaines régions, comme la Bavière, ont choisi d'ajouter une augmentation de 20 % dans l'intensité des crues. Pour ma part, j'estime que notre système est suffisamment solide et fiable pour le conserver tel quel. Il y aura toujours une part d'incertitude dans la façon dont nous définissons les événements parce que l'on n'arrivera jamais à maîtriser totalement la nature. Et il ne faut pas non plus perdre de vue que l'évolution des aléas ne sera pas forcément linéaire.

#### **Que voulez-vous dire par là ?**

La situation n'empire pas automatiquement à chaque fois que la température augmente d'un dixième de degré. Il y a aussi des choses qui vont s'améliorer.

#### **Par exemple ?**

Quand un glacier qui surplombe une vallée rétrécit, il arrive un moment où il ne produira plus de séracs susceptibles de dévaler la pente et de provoquer des avalanches. La fonte du pergélisol pose également beaucoup de problèmes à l'heure actuelle, notamment parce qu'elle augmente l'activité des laves torrentielles et des chutes de pierre. Mais c'est aussi un phénomène cyclique. Dans la vallée de Zermatt, par exemple, on a observé une augmentation de l'activité de chutes de pierres et de laves torrentielles dans les années 1920, puis dans les années 1940 et de nouveaux depuis les années 1980. Si on regarde les territoires qui ont été affectés, on arrive à la conclusion que les zones sources qui ont provoqué ces événements n'étaient pas les mêmes dans chaque cas et que les zones de départ les plus anciennes sont aujourd'hui stables parce que le pergélisol n'y existe plus. Nous allons donc passer par des périodes de crises avec des situations critiques à certains endroits, mais cela ne sera pas systématique et ne durera pas éternellement.

#### **La Suisse est-elle également parée pour intervenir dans l'urgence, lorsqu'une catastrophe finit quand même par survenir ?**

Oui, à chaque carte répertoriant les dangers est associé un plan d'intervention. Le territoire national est équipé de toute une série de systèmes d'alerte précoce. Cela peut être un suivi automatique de produits satellites ou des câbles installés de part et d'autre d'une fissure quand il s'agit de mesurer les mouvements de terrain. Comme il n'est pas

possible de construire des digues partout, certains che-naux connus pour avoir donné lieu à des laves torrentielles sont également équipés d'un dispositif qui permet de bloquer l'accès aux routes et aux ponts situés en aval dès qu'un événement se déclenche et d'alerter les services d'urgence. À eux, ensuite, d'organiser la protection des populations concernées en relation avec la protection civile.

#### **Ce système repose-t-il sur les seules communes ?**

Non, il implique aussi la Confédération, au travers de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), les cantons, les assurances, les services d'urgence (pompiers, ambulances, police) et ceux de la protection civile.

#### **Les services d'intervention sont-ils spécifiquement formés à ce type de situation ?**

Oui, et chaque commune dispose par ailleurs d'une ou de plusieurs personnes spécialisées dans la gestion des dangers naturels. Elles peuvent s'appuyer sur une application de l'OFEV nommée GIN Suisse qui leur donne accès aux données radars, aux prévisions de précipitations à court et à moyen terme. Elles peuvent également suivre l'évolution du débit des cours d'eau ou des chutes de neige. Avec leur connaissance du terrain, elles arrivent ainsi souvent à gérer la situation en anticipant la survenue d'un événement, ce qui permet aux populations de ne pas être prises au dépourvu. Si quelque chose s'annonce avec une grande incertitude, on ne va pas demander aux pompiers d'enfiler leurs bottes, mais de se tenir prêts à réagir le cas échéant.

#### **Certains risques sont-ils plus difficiles à anticiper que d'autres ?**

Oui, on a encore pas mal de problèmes avec les orages. Un événement comme celui qui s'est produit l'été dernier à La Chaux-de-Fonds reste très difficile à prévoir. Durant l'été, selon les masses d'air en présence, les températures et le taux d'humidité, on peut prédire que quelque chose pourrait se produire quelques jours en avance. Le jour dit, on peut affirmer avec une probabilité assez élevée qu'il va y avoir des orages le long du Jura, par exemple. Mais on ne saura qu'avec une ou deux heures d'avance où une tempête comme celle de La Chaux-de-Fonds va frapper. C'est la limite des systèmes de modélisation dont on dispose actuellement parce que ces phénomènes, comme les averses de grêle d'ailleurs, restent très localisés.

#### **Qu'en est-il des tempêtes très violentes qui se sont abattues cet été sur la Grèce ou des feux de forêts qui ont ravagé des quantités de territoire tout à fait inédites cet été, y compris en Suisse ?**

Ce qu'on appelle « médiane », pour « Mediterranean Hurricane », constitue un phénomène relativement nouveau. Jusqu'à ces dernières années, il n'existait pas

d'ouragans en Méditerranée, mais avec le réchauffement des eaux de surface, il faut se préparer à en voir plus souvent dès que les premières masses d'air froid arrivent dans cette zone pour entrer en contact avec une Méditerranée très chaude. Et pour l'instant, nous sommes assez démunis face à ce type d'événement.

### Et qu'en est-il pour les feux de forêt ?

On a vu avec l'exemple du Canada ou précédemment en Australie à quel point ce type de catastrophe était difficile à juguler à partir du moment où il avait pris une certaine ampleur. Cela dit, dans de nombreux cas, il semblerait que l'origine de ces incendies soit accidentelle, comme à Hawaï où le feu s'est répandu à la suite de la rupture d'un câble électrique (elle-même probablement due à un manque de maintenance du système d'approvisionnement électrique). Il faut également noter que dans de nombreuses régions du monde, on a longtemps pratiqué des feux préventifs. Dans certaines parties de la Méditerranée et des États-Unis, ou en Australie, il était obligatoire de brûler certaines portions de forêts durant la période froide et humide pour enlever les buissons, les branches mortes, bref tout ce qui traîne par terre pour éviter, lorsqu'il y a un incendie en saison chaude et sèche, que celui-ci ne se propage de façon incontrôlée. Cela fonctionnait très bien parce que ce sont des écosystèmes qui ont toujours brûlé et qui ont même besoin du feu pour permettre la germination de la nouvelle génération. Le problème, c'est qu'avec le développement de l'activité humaine et l'évolution du climat, cela devient de plus en plus difficile aujourd'hui. D'une part, parce qu'une partie de ces zones sont aujourd'hui construites, comme c'est le cas en Californie. De l'autre, parce qu'avec la hausse des températures et la baisse des précipitations, la période durant laquelle il est possible de procéder à ces feux préventifs est de plus en plus courte quand elle n'a pas complètement disparu, comme en Australie. Et le plus inquiétant dans tout ça, c'est que ces méga-incendies, notamment dans l'hémisphère Nord, alimentent un cercle vicieux.

### C'est-à-dire ?

Lorsqu'on s'approche de l'Arctique, les feux de forêts entraînent la disparition de la couverture au sol. Ce qui fait que le pergélisol est plus exposé au rayonnement solaire et qu'il va donc fondre plus vite. Des lacs vont se former et cette eau va, à son tour, contribuer à grignoter le pergélisol encore en place, qui va relâcher des quantités de plus en plus importantes de CO<sub>2</sub> et de méthane. Des gaz qui sont connus pour contribuer au réchauffement du climat...

## DANS DE NOMBREUX CAS, IL SEMBLERAIT QUE L'ORIGINE DES MÉGA-INCENDIES SOIT ACCIDENTELLE.

### Peut-on dire que l'efficacité du système de gestion des risques naturels en Suisse doit autant aux moyens mis à disposition qu'à une bonne gouvernance ?

Ils sont indissociables. Et c'est par exemple ce qui nous différencie d'un pays comme l'Allemagne, qui dispose de moyens en suffisance, mais où la gouvernance peut faire parfois défaut.

### Vous avez un exemple ?

En juillet 2021, l'ouest du pays a subi des inondations qui ont causé la mort de près de 200 personnes. Or, la plupart de ces victimes auraient sans doute pu être sauvées si les bonnes décisions avaient été prises au bon moment.

### C'est-à-dire ?

Le village qui a été le plus sévèrement frappé a été construit dans un méandre de la rivière qui a débordé. De nombreuses habitations ont donc été bâties dans une zone fortement exposée en cas de crue, ce qui, du point de vue de l'aménagement du territoire, n'aurait pas dû se produire et qui serait apparu comme un risque évident avec une carte des dangers telle que celles dont nous disposons en Suisse. À cela s'est ajoutée une mauvaise synchronisation des services concernés. Les services météorologiques européens avaient en effet transmis à leurs homologues allemands une pré-alerte concernant de probables crues dans la région quelques jours plus tôt, avant de les relancer quelques heures précédant la catastrophe. Mais l'information est restée bloquée au niveau national et quand elle a enfin été transmise aux autorités locales, celles-ci ont hésité sur la démarche à suivre. Par crainte que les gens se fassent emporter par la crue alors qu'ils tentaient d'y échapper, elles ont choisi de leur demander de rester chez eux. Résultat : ces gens sont morts noyés dans leur maison. Là encore, avec un plan d'intervention bien établi, de nombreuses vies auraient pu être sauvées.



Travaux de réfection dans le village haut-valaisan d'Oberwald après une coulée de laves torrentielles survenue en juillet 2021.

« en voie de développement » ou « émergents » dont la venue à Genève est grandement facilitée par l'octroi d'une bourse couvrant les frais d'écologie et de logement.

« L'intérêt de cette formule, c'est de favoriser les échanges entre des personnes qui travaillent dans le même domaine mais qui ont des compétences ou des façons d'aborder certains problèmes très différentes selon leurs parcours, précise Corine Frischknecht. Au final, ce qu'on vise, c'est de rendre les participant-es capables d'appréhender tel ou tel risque sous différents angles et d'évaluer le type d'informations dont ils et elles vont avoir besoin pour y faire face. »

En matière de catastrophe liée aux phénomènes géologiques ou climatiques, il n'y a en effet pas de solution miracle. Chaque situation exige ainsi d'être analysée spécifiquement, les mesures d'atténuation des risques étant d'autant plus efficaces qu'elles ont été pensées en amont.

Pour ce faire, il s'agit en premier lieu d'identifier de manière aussi précise que possible la nature des menaces qui pèsent sur un territoire donné : quelles zones peuvent être affectées par une coulée de lave, une inondation ou un glissement de terrain ; quelle part de la population est-elle menacée par ce type d'événement ; quel type d'infrastructures est susceptible d'y résister ou d'être détruite ?

« À partir de là, on peut déterminer comment rendre certains bâtiments plus sûrs, former les populations à adopter un comportement adéquat le moment venu – comme cela se fait par exemple au Japon avec la prévention des séismes – ou encore donner les moyens aux communautés locales de réagir efficacement en situation d'urgence, développe Corine Frischknecht. Dans certains cas, comme les inondations, il est également possible d'intervenir sur la topographie en procédant à des élévations de terrains, en construisant des digues ou aménageant des zones inondables susceptibles d'absorber un afflux d'eau soudain. Tout cela ne s'improvise pas. C'est un travail de longue haleine, qui reste sans doute le meilleur moyen de préserver des vies humaines, mais qui a un prix. Or, à l'échelle globale, les investissements consentis aujourd'hui dans la réduction des risques de catastrophe ne représente que 5 à 10 % des coûts consacrés à la gestion des situations de crise. »

## « LE RISQUE ZÉRO N'EXISTE PAS »

C'est un cursus assez unique en son genre. Chaque année, le Certificat de spécialisation en évaluation et management des risques géologiques et risques liés au climat (CERG-C), dirigé par la professeure Costanza Bonadonna, forme une vingtaine d'expert-es à la gestion des catastrophes liées aux phénomènes géologiques ou climatiques. Étalaé sur neuf semaines en continu, le programme alterne modules théoriques et stages de terrain selon une approche transversale permettant aux participant-es d'aborder des thématiques aussi variées que les séismes, les inondations, les sécheresses, les glissements de terrain ou les éruptions volcaniques, scrutées depuis l'île canarienne de La Palma. Le tout avec un objectif précis : limiter autant que possible les dégâts humains autant que matériels, tout en développant des stratégies d'adaptation. Explications avec la coordinatrice du programme, Corine Frischknecht, chargée de cours et adjointe scientifique au Département des sciences de la Terre (Faculté des sciences).

Ouvrant sa 35<sup>e</sup> session l'an prochain, le CERG-C est né en 1988, à l'initiative de deux professeurs de l'UNIGE (Jean-Jacques Wagner et Michel Delaloye) appuyés par un collègue de l'École polytechnique fédérale de Zurich (le Dr Dieter Mayer-Rosa).

La même année, l'Arménie est frappée par un séisme de 6,9 sur l'échelle de Richter qui cause entre 25 000 et 35 000 morts, tandis que trois ans plus tôt, l'éruption du Nevado del Ruiz en Colombie avait fait près de 23 000 victimes, parmi lesquelles la petite Omayra Sanchez, dont l'agonie avait été filmée par les caméras du monde entier.

« À l'époque, face à de tels événements, la tendance était plutôt à la réponse, replace Corine Frischknecht. C'est-à-dire que l'on agissait essentiellement après coup. L'idée de ces professeurs était qu'on pouvait faire quelque chose avant que ce type de catastrophe ne survienne. Car si dans la nature le risque zéro n'existe pas, rien n'interdit de chercher à en limiter au maximum les conséquences. Mais pour cela, il faut se donner les moyens de comprendre les phénomènes en question, de mettre en place des systèmes de surveillance afin d'en repérer les éventuels signes précurseurs, d'implémenter des mesures d'atténuation et de former les populations concernées à réagir de manière adaptée. C'est sur la base de cette idée que le CERG-C a été développé. »

Ouvert aux étudiant-es disposant au moins d'une formation universitaire de niveau master, en géosciences ou autres disciplines, ainsi qu'aux personnes déjà insérées dans le monde professionnel, le Certificat attire essentiellement des candidat-es provenant des pays dits

## SÉCHERESSE

# LA GUERRE DE L'EAU N'AURA (SANS DOUTE) PAS LIEU

SI L'EAU A ÉTÉ HISTORIQUEMENT UN VECTEUR DE COOPÉRATION PLUS QUE DE CONFLIT, **DE NOUVELLES TENSIONS APPARAISSENT EN LIEN AVEC LE CHANGEMENT CLIMATIQUE**. BIEN LOTIE DANS CE DOMAINE, LA SUISSE DEVRA NÉANMOINS PROCÉDER À DES ARBITRAGES POUR FAIRE FACE AUX SÉCHERESSES ANNONCÉES.



## Christian Bréthaut

Professeur associé à l'Institut des sciences de l'environnement et au Département géographie et environnement (Faculté des sciences de la société)

**Formation :** Christian Bréthaut obtient un Doctorat en géosciences et environnement à l'Université de Lausanne. Il rejoint l'Université de Genève en 2012.

**Parcours :** Coordinateur du projet GouvRhône, traitant de la gouvernance franco-suisse du Rhône, Christian Bréthaut assure dès 2014 la direction scientifique du Geneva Water Hub. En 2015, il devient titulaire de la chaire Unesco en hydrologiques, qu'il partage avec Géraldine Pflieger.

**A**u printemps 2018, les quelque 4,7 millions d'habitants du Cap, en Afrique du Sud, sont passés tout près du point zéro, soit le jour où les réservoirs alimentant la ville se retrouveraient complètement vides. En Californie, une police de l'eau sillonne les collines de Los Angeles pour veiller au respect de la réglementation sur l'usage de cette ressource mise en place ces dernières années. Et en France, ce sont près de 700 communes qui se sont vues privées d'eau potable durant l'été 2022. Malgré certaines restrictions d'usage mises en place ces deux dernières années, la Suisse est encore loin de tels extrêmes. Mais une adaptation est indispensable pour faire face aux effets du changement climatique sur le régime des précipitations, prévient Christian Bréthaut, professeur associé à l'Institut des sciences de l'environnement ainsi qu'au Département géographie et environnement (Faculté des sciences de la société), directeur scientifique du Geneva Water Hub et codirecteur de la chaire Unesco en hydrologiques de l'UNIGE.

« Dans les médias, le récit qui s'est imposé, c'est que l'eau va jouer dans les prochaines décennies le rôle qu'a tenu le pétrole tout au long du XX<sup>e</sup> siècle, note le chercheur. Autrement dit, c'est la ressource autour de laquelle vont se cristalliser les conflits à venir. Or, quand on regarde les analyses historiques et statistiques qui ont été menées à l'échelle globale, on se rend compte que la plupart du temps, quand vous avez des tensions liées à l'eau, le résultat est plus coopératif que conflictuel. Depuis les années 1950, il y a ainsi eu une trentaine de conflits directement en lien avec l'eau, alors que pendant la même période, plus de 300 accords ont été signés à l'échelle transfrontalière autour de la gestion de cette ressource.

*Cela étant, il est vrai qu'avec le changement climatique et la récurrence de plus en plus forte de sécheresses de plus en plus importantes, on voit se développer une résurgence des tensions liées à l'eau, en particulier au niveau régional. »*

Dans un monde où chaque litre d'eau va commencer à compter, il reste heureusement une marge de manœuvre relativement importante dans de nombreuses régions du globe. D'une part, parce que de nombreux leviers peuvent être activés pour réduire la consommation d'eau. De l'autre, parce qu'un certain nombre de crises relatives à l'approvisionnement en eau ne sont pas dues aux changements

climatiques – bien que ceux-ci constituent un facteur aggravant –, mais à une gouvernance inadéquate des réserves disponibles.

Pour ce qui touche au premier point, l'éventail des possibles reste en effet très large. À l'image de ce qui a été fait en Californie, il est ainsi imaginable d'introduire une législation stricte quant aux usages domestiques de l'eau (arrosage autorisé durant quinze minutes un jour par semaine, bannissement des plantes d'ornement non indigènes...). À la suite de l'épisode de 2018, les autorités du Cap ont, de leur côté, lancé un vaste programme d'action intitulé « Cape

Town Strategy », qui a permis de réduire la consommation quotidienne d'eau de la ville de 40% en trois ans. Des gains substantiels sont également réalisables via la valorisation des eaux de pluie, la mise en place de processus industriels plus efficaces ou encore le remplacement des systèmes par aspersion par des systèmes de goutte-à-goutte en matière d'irrigation agricole, secteur le plus gourmand en eau des économies occidentales.

Pour ce qui est de la gouvernance, un gaspillage considérable des ressources pourrait être évité grâce à un meilleur

**DEPUIS LES ANNÉES 1950, IL Y A EU UNE TRENTAINE DE CONFLITS DIRECTEMENT LIÉS À L'EAU, TANDIS QUE PLUS DE 300 ACCORDS DE COOPÉRATION ONT ÉTÉ CONCLUS DANS CE DOMAINE**



Les fortes chaleurs et le manque de pluie mettent en péril la faune aquatique. Durant l'été 2022, 20 000 m<sup>3</sup> d'eau potable ont été injectés dans la Drize via des lances à incendie afin de préserver le débit et la température du cours d'eau genevois.

entretien et une planification efficace de la gestion des réseaux d'adduction, sachant que dans une ville comme Rome, par exemple, le taux de fuite peut approcher les 50%. Toute la difficulté étant qu'on parle ici d'investissements se comptant en centaines de millions de francs, par définition invisibles puisque souterrains, qui mettront des années à apporter des résultats concrets et qui sont donc relativement peu porteurs en termes de communication politique.

*« Il y a par ailleurs énormément d'endroits dans le monde où des choix politiques ont conduit à des situations catastrophiques ou ont empêché d'anticiper les problématiques liées au manque d'eau, précise Christian Bréthaut. L'exemple le plus extrême est peut-être le choix des autorités soviétiques d'imposer la culture du coton dans certaines régions désertiques d'Asie centrale, ce qui a provoqué l'assèchement de la mer d'Aral. Mais le fait qu'en Californie, la majorité des points d'accès à l'eau souterraine se trouve dans les mains de grands propriétaires terriens qui, forts de titres de propriété historiques, prélèvent autant d'eau qu'ils le veulent, a également des conséquences très négatives pour la gestion des sécheresses.*

Relativement bien lotie dans ce domaine, la Suisse ne risque guère de voir la disponibilité en eau directement menacée, hormis dans certaines régions particulièrement exposées comme le Jura ou le Valais. Compte tenu des différences de températures assez importantes qui existent entre la plaine et les sommets, il continuera en

effet de pleuvoir raisonnablement dans les Alpes. Et la présence de nombreux lacs, comme celui du Léman ou de Zurich, constitue par ailleurs des réserves monumentales à l'échelle européenne.

Cela étant, il faudra tout de même procéder à un certain nombre d'arbitrages pour faire face à la nouvelle donne saisonnière. Si l'accès à l'eau potable, qui relève d'un droit humain fondamental, restera à l'évidence la priorité absolue, quelles quantités d'or bleu faudra-t-il allouer à la protection des rivières afin d'assurer un débit suffisant à la survie de la population piscicole, à la production d'énergie hydroélectrique, à l'irrigation des terres agricoles ou aux canons à neige dont dépend la survie des stations de moyenne montagne ?

*« Répondre à ce type de questions implique que la force publique soit en capacité de faire des choix ou d'ajuster des mécanismes déjà existants, analyse Christian Bréthaut. Mais pour ce faire, il faut comprendre ce qui se passe, disposer d'une vision d'ensemble sur les quantités de ressources à disposition et sur les modes de consommation. Et pour l'heure, je ne suis pas certain qu'au niveau national, on ait une vision très claire du fonctionnement et des prélèvements opérés par les différents usages de l'eau. On a effectivement une vision d'ensemble du système, mais il me semble que, pour l'instant, elle n'est pas suffisamment élaborée pour avoir la capacité de procéder à des arbitrages et de faire face efficacement aux défis qui nous attendent. »*

RAZ DE MARÉE LACUSTRE

# LES TSUNAMIS SILENCIEUX DU LAC DE BRIENZ

LA CORRECTION DE L'AAR A PROVOQUÉ DEPUIS 150 ANS QUATRE ÉBOULEMENTS SOUS-LACUSTRES SUIVIS DE TSUNAMIS PASSÉS INAPERÇUS. LE PROCHAIN POURRAIT CEPENDANT FAIRE PLUS DE DÉGÂTS. RETOUR SUR **UNE RECHERCHE PONCTUÉE DE CADAVRES BLEUS.**

**L**e 24 avril 1996, les ouvriers d'une plateforme de dragage exploitant du sable devant l'embouchure de l'Aar, dans le lac de Brienz, vivent un étrange phénomène. Dans un bruit inquiétant, le radeau de 50 tonnes sur lequel ils s'activent est violemment tiré vers le bas par les aussières ancrées dans le fond du lac tandis que deux attaches fixées à la terre ferme le retiennent. Tendus à l'extrême, deux filins du diamètre d'un pouce se rompent en même temps et balagent le pont comme des fouets, heureusement sans toucher personne. Surpris, les ouvriers arrêtent tout et s'en vont faire leur rapport à leur patron. En arrimant leur barque au quai, ils remarquent que le niveau du lac est bien plus bas que d'habitude. Le temps de rendre compte des événements et de retourner vers la plateforme, l'eau est remontée et pointe cette fois-ci à un demi-mètre au-dessus du niveau normal.

Les choses auraient pu en rester là si deux autres événements ne s'étaient pas déroulés dans les jours suivants. Le premier est la découverte, le 1<sup>er</sup> mai, d'un cadavre auquel il manque la tête, un bras et le bas des jambes, sur la grève d'Oberried, 6 kilomètres plus à l'ouest. Les services forensiques bernois datent la dépouille au carbone 14 et prouvent que l'individu est mort noyé au cours du XVIII<sup>e</sup> siècle. Son corps est d'ailleurs recouvert partiellement d'un minéral, la vivianite, signe d'une longue immersion dans la vase. Le fait d'être emprisonné dans les sédiments, un milieu

dépourvu d'oxygène, aurait permis la préservation du corps à l'exception de ses extrémités.

Le second incident est la perte d'instruments de mesure posés deux ans avant au fond du lac de Brienz par des scientifiques de l'Eawag (l'Institut fédéral des sciences et technologies de l'eau à Dübendorf). Ces derniers, venus les récupérer précisément au cours du mois de mai, ne peuvent que constater leur disparition. Interloqués, ils décident d'investiguer la chose.

**Tsunami de près d'un mètre** Les conclusions de la longue enquête qui s'ensuit sont rapportés dans un article de la revue *Marine Geology* du 25 juin 2007. Stéphanie Girardclos, maître d'enseignement et de recherche au Département des sciences de la Terre et à l'Institut des sciences de l'environnement (Faculté des sciences), et ses collègues de l'Eawag y démontrent que, le 24 avril 1996, une masse importante de sédiments accumulés devant l'embouchure de l'Aar s'est détachée et a provoqué un éboulement sous-lacustre. Grâce à des mesures de sismostratigraphie et des forages, les scientifiques parviennent à estimer à 2,72 millions de mètres cubes le volume de matériaux qui a glissé et a créé une couche de dépôts de plus d'un mètre d'épaisseur sur tout le fond du lac.

«*L'éboulement a failli couler la plateforme de dragage qui était ancrée dans les sédiments*», précise Stéphanie Girardclos. En

Vue aérienne de l'embouchure de l'Aar dans le lac de Brienz et de son panache de sédiments, préparant le prochain tsunami.

## LE TSUNAMI SUR LE LÉMAN DE 563

Dans un article paru en 2012 dans **Nature Geoscience**, Stéphanie Girardclos, Katrina Kremer et Guy Simpson de l'UNIGE démontrent que le Léman a connu en 563 un tsunami, provoqué par un effondrement sous-lacustre. La vague aurait atteint au minimum 13 mètres à Lausanne et 8 à Genève. Dans son travail de

master, Caroline Calpini a évalué les conséquences sur le Petit lac d'un tel raz de marée s'il devait avoir lieu aujourd'hui. Selon le pire scénario, une vague de 6, puis une autre de 9 mètres frapperaient Genève. L'eau s'enfoncerait dans les terres sur 3 kilomètres, engloutissant Plainpalais. L'inondation toucherait 100 000 personnes, 10 600 immeubles et 200 kilomètres de routes. La vitesse

de déplacement pourrait atteindre 51 m<sup>2</sup>/s (il en faut 2 pour renverser une personne) et charrier quantité d'objets, dont les bateaux de plaisance qui se transformeraient en béliers mortels. Le risque qu'un événement d'une telle magnitude se produise semble cependant très peu probable. Les résultats de ce travail ont tout de même été transmis aux autorités genevoises.



«Un Tsunami sur le Léman, Tauredunum 563», par Pierre-Yves Frei et Sandra Marongiu, PPUR, 185 p.

*même temps, il a libéré un cadavre qui gisait dans ces dépôts depuis des siècles et, en se propageant au fond du lac, a emporté les instruments scientifiques qui s'y trouvaient. L'accident a également provoqué un tsunami de presque 1 mètre. Cependant, à l'exception des ouvriers, personne ne l'a remarqué.»*

L'analyse des données environnementales précédant l'événement (débit de l'Aar, vitesse du vent, niveau du lac, séismes) suggère par ailleurs qu'aucune cause particulière n'est à l'origine du glissement de terrain à l'exception de l'accumulation naturelle de sédiments qui, en dépassant un seuil, a provoqué une rupture de leur équilibre.

**Quatre éboulements** L'histoire aurait, là encore, pu en rester là si ce n'est que les mesures des profils sismostratigraphiques et les carottages mettent en évidence non pas une couche épaisse de sédiment, mais quatre, les unes au-dessus des autres, soit autant de signes d'éboulements de volumes similaires. En dessous, c'est-à-dire durant au moins un millénaire dans le passé, aucun autre dépôt n'atteint, de loin, la même grosseur.

Après un travail long et minutieux qui fait l'objet d'un article actuellement en phase de soumission, les scientifiques réussissent finalement à estimer avec une erreur raisonnable les dates des quatre événements, soit 1854, 1906, 1942 et 1996. La plus récente est précise au jour près, puisque des témoins ont vu et rapporté l'événement. Celle de 1942 est entachée d'une incertitude de quelques semaines, voire de quelques mois. Cela est dû essentiellement à la découverte, le 19 septembre de cette année, d'un autre mystérieux cadavre (« totalement momifié ») rendu par le lac plus ou moins au même endroit que la dépouille de 1996 et dont l'*Oberländer Tagblatt* fait la recension. Les autorités de l'époque estiment que le mort (manifestement également recouvert de vivianite) gisait, lui aussi, depuis longtemps dans les sédiments du lac. Les mêmes causes entraînant les mêmes effets, il est donc très probable que cette apparition macabre soit le résultat de l'éboulement sous-lacustre identifié par les scientifiques.

«Je suis tombée sur l'information en effectuant, sans trop y croire, des recherches dans les archives numérisées des journaux locaux, s'amuse Stéphanie Girardclos. Ces cadavres d'un autre temps, libérés par un éboulement sous-lacustre et qui remontent à la surface, nous ont donc servi deux fois. C'est

*à se demander si nous n'avons pas développé une nouvelle technique de datation – et qui sait combien de cadavres sont encore enfouis dans les sédiments du lac de Brienz ?»*

**Trois nouveaux cadavres** Il est d'ailleurs possible que la date de 1906 subisse le même traitement. Selon une trouvaille récente, il s'avère en effet que la *Neue Zürcher Zeitung* du 22 septembre 1913 rapporte la découverte, la veille près de l'embouchure de l'Aar, de trois cadavres humains, dépourvus de tête ainsi que d'une partie de leurs membres et recouverts d'une sorte de gangue de « plâtre », à laquelle s'ajoutent les dépouilles d'animaux dans un état similaire. « On suppose que vers l'embouchure de l'Aar, un glissement de sable s'est produit, libérant ainsi les corps », conclut l'article. Il ne reste donc guère que la dernière date (1854), à laquelle aucun malheureux noyé n'a pu être associé, qui reste entachée d'une incertitude de deux à trois décennies. Mais un scénario se dessine néanmoins. C'est celui de la correction de l'Aar et du contrôle des niveaux des lacs de Brienz et de Thoune.

La vallée de l'Aar a en effet été sujette de tout temps à des inondations dévastatrices. Les travaux visant à y remédier commencent en 1850 avec la construction d'un barrage à Interlaken suivie dans les années 1860 et 1870 de la canalisation de l'Aar. Son embouchure est aménagée dans la partie sud du delta naturel et devient alors le seul point d'évacuation des limons charriés par la rivière.

« Cette concentration des dépôts qui étaient auparavant répartis par un delta plus large est compatible avec une accumulation plus rapide et plus importante de sédiments à un seul endroit et donc avec une augmentation du risque d'éboulements sous-lacustres, estime Stéphanie Girardclos. En d'autres termes, nous montrons que la régulation du cours d'eau a entraîné des effondrements réguliers tous les trente à cinquante ans. Le volume déplacé est à chaque fois similaire, à savoir plus d'un million de mètres cubes. Si rien n'est fait (réactivation de bras secondaires du delta, par exemple), on peut s'attendre à ce que le suivant ait lieu dans 10 ou 20 ans. On ne peut pas prédire son amplitude, ni celle du tsunami qui pourrait s'ensuivre. Ce dernier pourrait toutefois dépasser un mètre, cette fois-ci. Ou la fois d'après. En tout état de cause, il représente un risque naturel supplémentaire, créé par les activités humaines, pour les communautés riveraines. »



## Stéphanie Girardclos

Maître d'enseignement et de recherche au Département des sciences de la Terre, Faculté des sciences

**Formation:** Après un diplôme en sciences de la Terre en 1993 et quelques années au sein du GRID (Global Resource Information Database) du Programme des Nations unies pour l'environnement, elle effectue sa thèse de doctorat en sciences de la Terre (UNIGE) en 2001.

**Parcours:** Entre 2002 et 2007, elle passe ses années postdoctorales à l'École polytechnique de Zurich (ETHZ). En 2007, elle est de retour à l'UNIGE en tant que maître-assistante puis maître de recherche dès 2013.

CANICULES

# LE BÉTON, CHANCE ET MALÉDICTION DES VILLES

LES ÎLOTS DE CHALEUR SE MULTIPLIENT MAIS ON CONTINUE DE CONSTRUIRE MASSIVEMENT EN BÉTON, CE QUI N'AIDE PAS À RÉSOUDRE LE PROBLÈME. L'ANALYSE D'ARMELLE CHOPLIN, PROFESSEURE AU DÉPARTEMENT DE GÉOGRAPHIE ET ENVIRONNEMENT ET À L'INSTITUT D'ÉTUDES GLOBALES.



**Campus: Les villes occidentales, qui hébergent la plus grande partie des habitants des pays industrialisés, sont-elles adaptées aux changements climatiques qui se multiplient?**

**Armelle Choplin:** Les villes changent et s'adaptent en permanence. Mais face à ce qui s'annonce, c'est-à-dire aux risques liés au dérèglement climatique, il va falloir qu'elles le fassent sans tarder. C'est un peu maintenant ou jamais. Les villes actuelles sont en effet construites depuis 70 ans selon un modèle très minéral, c'est-à-dire avec beaucoup de béton, et conçu pour les voitures. L'imperméabilisation des sols, par exemple, pose le problème de l'écoulement de l'eau et donc de la multiplication des inondations, surtout lors de précipitations importantes, qui sont de plus en plus fréquentes. À Genève, certains épisodes de pluies récentes, avec des précipitations brèves mais très intenses, combinés à de fortes chaleurs, ont pu faire penser au climat tropical que l'on peut trouver en Afrique de l'Ouest, où j'ai vécu plusieurs années.

**Le béton partout n'est pas terrible non plus pour conserver la fraîcheur...**

L'usage du béton et du goudron, qui emmagasinent la chaleur, participe en effet à la création des îlots de chaleur. Plateforme 10, l'espace aménagé récemment devant le Musée cantonal des beaux-arts de Lausanne, en est un bon exemple. Il a été immédiatement baptisé « la plancha » par les usagers pour sa faculté à stocker la chaleur du soleil. Il y fait plusieurs degrés de plus que dans le

parc arboré le plus proche. Plateforme 10 a beau être récent, c'est le résultat d'un projet qui a été pensé il y a 10 ou 15 ans, c'est-à-dire une époque où le souci des îlots de chaleur ne se posait pas avec la même acuité qu'aujourd'hui. Heureusement, les villes s'adaptent et le béton de cet espace a déjà été remplacé par du gravier clair qui reflète davantage la lumière et fait significativement diminuer la température. À Genève, le quartier de Lancy-Pont-Rouge, avec ses tours noires est également le fruit de réflexions urbanistiques datant de plus d'une décennie. Il est lui aussi devenu un îlot de chaleur malgré des efforts en termes de végétalisation. Des voix demandent maintenant que l'on revoie certains aspects de tout le programme urbain Praille-Acacias-Vernets qui, dans son ensemble, est tout de même très minéral et donc peu adapté aux défis environnementaux de la ville. Je pense également à des cours d'école à Genève qui ont récemment été refaites avec un bitume foncé. L'épisode de canicule tardive survenu en pleine rentrée scolaire cette année les a rendus quasiment invivables. Dans d'autres villes européennes, on est en train de débiter et de recouvrir le sol avec des copeaux de bois qui absorbent la chaleur tout en étant perméable à l'eau de pluie.

**À cela s'ajoute le fait que la fabrication du béton contribue elle-même au réchauffement climatique...**

En effet, le béton est principalement fait de ciment, de sable, de gravier et d'eau et l'industrie du ciment est, à elle seule, responsable de 8% des émissions de gaz à effets de serre.



### Il faudrait donc commencer à construire avec moins de béton. Est-ce possible ?

Les normes actuelles sont très hautes en Suisse et on a tendance à surdoser l'usage du ciment. Or, il est possible de revoir ces normes à la baisse sans pour autant prendre de nouveaux risques.

### Pourquoi y a-t-il un surdosage de ciment en Suisse ?

Le béton fait partie de l'identité suisse. On peut presque parler d'une histoire d'amour. Pour commencer, le ciment est considéré comme un produit local. Le pays se trouve en effet dans le sillon calcaire de l'axe rhodanien dont les innombrables carrières ont fourni le ciment pour une bonne partie de l'Europe. Cette vaste région a donné naissance à certains des plus grands producteurs mondiaux de ciment, dont l'un est d'ailleurs suisse, Holcim, devenu leader dans le secteur des matériaux de construction après avoir fusionné avec le français Lafarge en 2015. Ensuite, le béton a été promu par le célèbre architecte chaux-de-fonnier Le Corbusier. Ce dernier affirmait en effet que « les matériaux de l'urbanisme sont le soleil, l'espace, les arbres, l'acier et le ciment armé, dans cet ordre et dans cette hiérarchie » [en 1933, au congrès international d'architecture moderne

**« LE BÉTON FAIT PARTIE DE L'IDENTITÉ SUISSE. ON PEUT PRESQUE PARLER D'UNE HISTOIRE D'AMOUR. »**

d'Athènes, ndlr]. On lui doit tout un pan de l'imaginaire du bâtiment en béton qui s'est perpétué, via ses disciples, dans l'histoire architecturale contemporaine de la Suisse. Plusieurs églises ont été construites avec ce matériau, dont une des plus emblématiques est celle d'Hérémece, en Valais, par le Zurichois Walter Förderer en 1971. Vu comme permanent, le béton est utilisé dès l'après-guerre pour l'édification du moindre bâtiment (parking, abribus ou abri à vélos), des ouvrages routiers de plus en plus impressionnants jusqu'aux abris anti-atomiques – spécialité éminemment helvétique intégrée dans tous les nouveaux bâtiments – qui devaient tous, pour des raisons différentes, être solides et durer. Enfin, on a aussi construit en béton car cela a permis de loger rapidement beaucoup de monde et à moindre coût. Résultat, il est devenu un matériau omniprésent dont nous sommes très dépendants. Or, l'urgence climatique oblige à réfléchir à des alternatives à ce matériau très polluant et de moins en moins adapté aux besoins de nos villes.

### Quelles sont les solutions ?

Pour faire face à la chaleur, il faut végétaliser autant que possible. On le voit bien sur les cartes d'analyse climatique de Genève, il y a plusieurs degrés de différence entre les parcs ou les espaces arborés et les îlots de chaleur que

Le nouveau quartier de Lancy-Pont-Rouge, avec ses tours noires, est le fruit de réflexions urbanistiques datant de plus d'une décennie. Il est devenu un îlot de chaleur malgré des efforts en termes de végétalisation.



### Armelle Choplin

Professeure au Département de géographie et environnement et à l'Institut d'études globales

**Formation:** Elle obtient une maîtrise universitaire (2002) puis une thèse (2006) en géographie et aménagement à l'Université de Paris 1.

**Parcours:** De 2008 à 2016, elle est maîtresse de conférences à l'Université Paris-Est et à l'École d'urbanisme de Paris. De 2016 à 2018, elle est chercheuse à l'Institut de recherche pour le développement, affectée en Afrique de l'Ouest. Elle est engagée à l'Université de Genève en 2019 et est nommée directrice de l'Institut de gouvernance de l'environnement et développement territorial.

sont les déserts minéraux (comme Plainpalais). En outre, alors que les épisodes de canicules se multiplient chaque été, les architectes pourraient commencer à proposer pour les nouvelles constructions des expositions principales non plus vers le sud, comme cela se fait habituellement, mais vers l'est ou l'ouest, ou même le nord, pour bénéficier d'un peu plus d'ombre et donc d'une relative fraîcheur. Une autre solution serait l'utilisation de doubles plafonds, c'est-à-dire de greniers, une habitude qui s'est largement perdue à Genève où presque toutes les constructions modernes ont un toit plat. Et un toit plat, c'est le pire que l'on puisse faire contre la canicule. Les penthouses, les chambres de bonnes, les duplex en dernier étage, on commence à en revenir. Certains ne sont plus vivables aujourd'hui. Il faut reconstruire des mansardes qui permettent de garder la chaleur et isoler l'étage du dessous.

### Mais peut-on, techniquement, se passer du béton ?

Pour l'instant, cela semble compliqué. Mais on peut essayer de diversifier les matériaux sur un chantier. Il existe des alternatives qui ne sont pas forcément plus chères. Marlène Leroux, chargée d'enseignement à l'Institut de gouvernance de l'environnement et développement territorial (Faculté des sciences de la société), fait partie de l'agence Archiplein qui a réalisé des immeubles de logement en pierre massive blanche notamment à la Coulouvrenière et à Plan-les-Ouates. C'est non seulement très beau, mais aussi très efficace du point de vue thermique.

### Qu'est-ce qui nous empêche de construire davantage en pierre ?

Nous avons non seulement perdu le savoir-faire de la production de masse des constructions en pierre mais en plus, et surtout, il est très difficile de sortir du tout béton. La logistique actuelle est très bien en place : fabrication du ciment, extraction des graviers, va-et-vient des bétonnières dans la ville, etc. Il est très difficile de changer un modèle de production aussi dominant et auquel tout le monde est habitué, du promoteur au système financier en passant par toute la chaîne des industries actives dans la construction. Même les architectes sont formés – pour ne pas dire formatés – à utiliser le béton. Ce n'est que depuis peu que des cours proposent des alternatives.

### Alors, comment sortir du tout-béton ?

Je crois beaucoup en la prise de conscience sociale et en l'action citoyenne. Tout le monde doit mettre la pression. Le citoyen pour que les élus changent les lois et les normes en matière de construction, les clients pour forcer les promoteurs à les adopter et exiger des industriels qu'ils développent des filières plus vertes. La recherche n'est pas en reste, en particulier dans les écoles polytechniques fédérales de Lausanne et de Zurich, ou des groupes travaillent à la mise au point d'un ciment décarboné ou au développement de techniques de construction innovantes et de matériaux plus durables qui pourraient remplacer le ciment.

**« UN TOIT PLAT, C'EST LE PIRE QUE L'ON PUISSE FAIRE CONTRE LA CANICULE. LES PENTHOUSES, LES CHAMBRES DE BONNES, LES DUPLEX EN DERNIER ÉTAGE, ON COMMENCE À EN REVENIR. »**

### Il n'y a pas que la pierre pour remplacer le béton, je suppose...

Non, on peut aussi construire en bois, un matériau que la Suisse utilise depuis très longtemps pour ses maisons. Cela dit, ce n'est pas la panacée non plus. La filière n'est pas assez importante pour subvenir à tous les besoins. Au-delà du bois, il existe plein d'autres solutions comme la paille ou la terre. Signe des temps, l'année dernière, le prix Pritzker 2022 (l'équivalent du prix Nobel d'architecture) a été décerné à l'architecte burkinabé Francis Kéré. Il est non seulement le premier lauréat africain,

mais en plus il est un architecte atypique parmi ceux qui ont reçu cette récompense. Dans son travail, il privilégie au maximum l'usage des matériaux locaux, notamment la terre, et utilise toutes les techniques de climatisation naturelle – double toiture, façades percées, bassines d'eau fraîche au pied des cheminées, etc. – pour maintenir une température acceptable à l'intérieur même en temps de forte chaleur. Récompenser un architecte africain qui construit en terre, avec une empreinte carbone faible, est révélateur d'une certaine prise de conscience.

### Les grandes villes africaines qui se développent à toute allure, telles que Lagos au Nigeria, ne sont pas forcément les meilleurs exemples...

En effet. Mais c'est là le paradoxe des villes africaines. Les habitants là-bas rêvent une vie entière de pouvoir se construire une maison en béton parce que c'est un symbole de réussite tout en étant le matériau le plus facile et le moins cher à utiliser. Ce ne sont plus des bidonvilles

Conçu par l'architecte burkinabé Francis Kéré, lauréat du prix Pritzker 2022, le « Doctors' Housing » (Léo, Burkina Faso) est fabriqué avec des matériaux locaux et utilise les techniques de climatisation naturelle.



KÉRÉ ARCHITECTURE / JAIMÉ HERRAZ

qui poussent dans les périphéries urbaines, mais des «bétonvilles». Le problème, c'est qu'une fois terminée, la maison s'avère inhabitable à cause de la chaleur. Dans les quartiers plus aisés, les bâtiments sont aussi en béton et les fenêtres sont toutes fermées avec d'épais rideaux pour éviter que la chaleur rentre, car ils sont bien sûr tous équipés de climatiseurs. Ce qui est ironique, c'est que dans le domaine de la construction africaine, deux figures inspirent respect et admiration alors que tout les oppose. D'un côté, Francis Kéré, promoteur des matériaux locaux et de l'architecture tropicale vernaculaire, et, de l'autre, Aliko Dangote, l'homme le plus riche du continent, qui a fait fortune justement dans le ciment. C'est lui qui, grâce au pétrole nigérian, a réussi dès les années 1980 à développer une production locale de ce matériau qui était auparavant importé d'Europe. Aliko Dangote a en quelque sorte africanisé le ciment et démocratisé son usage en Afrique. Il a indirectement participé à la croissance effrénée de Lagos qui est évidemment une ville de béton, de moins en moins habitable car peu adaptée à son environnement.

**Le problème de la chaleur n'est d'ailleurs sans doute pas le principal risque qu'affrontent des villes comme Lagos, dont l'agglomération, immense, compte plus de 20 millions d'habitants ?**

Lagos donne sur le golfe de Guinée. Elle est régulièrement soumise aux aléas des inondations causées à la fois par les eaux en crue et qu'aucune canalisation ne parvient à contenir (provoquant des événements destructeurs parfois très impressionnants) et par l'érosion côtière au sud qui grignote jusqu'à 20 mètres de terre sur le littoral. Ces problèmes d'inondation, on les retrouve aussi de manière régulière depuis vingt ans dans des villes du Sahel qui n'étaient pas préparées à ce risque, telles que Dakar (Sénégal) ou Nouakchott (Mauritanie). Celles-ci se sont agrandies dans des zones inondables et ne disposent pas de tout-à-l'égout ou de système de drainage. Résultat, certains quartiers sont sous l'eau une bonne partie de l'année.

«La Vie du ciment en Afrique, matière grise de l'urbain», par Armelle Choplin, MétisPresses, 2020  
 «Concrete City, Material Flows and Urbanisation in West Africa», par Armelle Choplin, Wiley, 2023,  
<https://tinyurl.com/pointschauds>

## PENTE GLISSANTE

# LA NATURE EST APPELÉE À L'AIDE. LE SECTEUR PRIVÉ, AUSSI.

LES «**SOLUTIONS BASÉES SUR LA NATURE**» ONT LA CAPACITÉ DE RÉDUIRE LES INCIDENCES DE DÉSASTRES NATURELS TELS QUE LES CRUES, LES ÉBOULEMENTS OU ENCORE LES AVALANCHES. UN PROJET EUROPÉEN QUI VIENT DE SE TERMINER A ÉTUDIÉ LEUR MISE EN ŒUVRE DANS DES RÉGIONS RURALES DE MONTAGNE.



## Anna Scolobig

Collaboratrice scientifique à l'Institut des sciences de l'environnement

**Formation:** Elle obtient sa thèse en sciences sociales à l'Université d'Udine en 2008.

**Parcours:** Entre 2010 et 2013, elle effectue un postdoctorat à l'Institut international pour l'analyse des systèmes appliqués à Laxenbourg en Autriche avant de rejoindre le King's College à Londres puis l'École polytechnique fédérale de Zurich en 2013. Elle est engagée à l'UNIGE en novembre 2018.

**M**almenée, la nature nous renvoie bien souvent la monnaie de notre pièce, spécialement dans les régions de montagne. À force de construire habitations et infrastructures dans des zones dangereuses et, par-dessus le marché, de bouleverser l'équilibre environnemental par les changements climatiques, il n'est pas étonnant que, de plus en plus fréquemment, les terrains glissent, les rochers s'éboulent ou que les torrents inondent des zones où vivent, travaillent et se déplacent des gens. Mais la nature – peu rancunière – peut aussi offrir des solutions permettant de rendre ces paysages plus résilients face à ces désastres ou de restaurer des écosystèmes. Et il se trouve que démontrer l'efficacité des « solutions basées sur la nature » (SBN) et leur capacité à réduire l'incidence d'événements de petite envergure mais fréquents dans les paysages ruraux de montagne constitue justement l'objectif du projet européen Phusicos qui vient de se terminer et auquel des scientifiques de l'Université de Genève ont participé.

«*Les SBN sont des mesures inspirées de la nature qui sont rentables et durables et dont l'effet est d'atténuer, et dans certains cas de prévenir, les risques qui affectent les régions exposées, explique Anna Scolobig, collaboratrice scientifique à l'Institut des sciences de l'environnement. Il peut s'agir de solutions à petite échelle, comme l'installation de toits végétalisés dans les villes pour absorber l'eau, réduire la pollution au CO<sub>2</sub> et protéger contre les grandes chaleurs. Mais elles peuvent aussi s'étendre sur des surfaces plus grandes, comme le fait de donner de l'espace à des rivières pour amortir leurs crues. Le Canton de Genève conduit ce genre de grands projets, notamment dans l'optique de la renaturation du Rhône.*»

**Moraines instables** Dans le cadre de Phusicos, financé par le programme européen Horizon 2020, le concept de solutions basées sur la nature a été testé dans cinq endroits distincts et représentatifs de la variété de risques liés plus spécifiquement à la montagne : le Kaunertal en Autriche (à une trentaine de kilomètres des Grisons), le bassin

de l'Isar en Allemagne, un des principaux affluents du Danube, sujet à des crues fréquentes, le Gudbrandsdalen, une des vallées les plus peuplées de Norvège, les Pyrénées, entre la France et l'Espagne, et le bassin du Serchio, un fleuve de Toscane dont le bassin est défini comme d'« intérêt national » en Italie.

Les solutions évaluées, une bonne quinzaine en tout, couvrent une variété d'aménagements tels que la création de zones inondables, l'élévation de digues, l'installation de structures paravalanches, la végétalisation des pentes, etc. Sur les hauts du Kaunertal, par exemple, se trouve le glacier Gepatschferner qui subit le retrait le plus rapide d'Autriche, laissant derrière lui des moraines instables et raides, menaçant d'éboulement la vallée et les infrastructures en contrebas. Les scientifiques ont tenté de stabiliser ces pentes en testant la plantation de différentes semences mélangées à des microbiomes sélectionnés en laboratoire pour leur capacité à assister le développement des végétaux. Les expériences menées sur des sites tests ont montré qu'il faut une couverture végétale d'au moins 30% pour commencer à réduire l'érosion tandis qu'une couverture de plus de 75% l'élimine totalement. La campanule barbue (*Campanula barbata*) s'est avérée l'espèce la plus adaptée à l'exercice bien que des communautés plus larges de plantes aux fonctions diverses semblent encore plus efficaces. Les plantes ont bien poussé dans tous les sites mais les scientifiques ont observé dans près de la moitié d'entre eux une couverture significativement plus importante dans les parcelles où des microbes ont été ajoutés aux semences.

**Coulées de débris** Autre exemple : le village d'Erilla-Vall, dans les Pyrénées espagnoles, est en proie à de régulières coulées de débris dont l'origine est une moraine épaisse érodée par les précipitations, en particulier durant l'été. Dans le cadre de Phusicos, une entreprise locale a réalisé des travaux combinant une végétalisation du lieu avec des plantes locales et, dans les parties les plus abruptes, la construction de terrasses faites de murs en pierres sèches et

### Le glacier

**Gepatschferner**, en Autriche, subit un retrait rapide, laissant derrière lui des moraines instables qui pourraient s'effondrer et dévaster la vallée et les structures en contrebas. Des tests de végétalisation de ces pentes sont en cours pour les stabiliser.



de bois visant à réduire la quantité de sédiments emportés par le canal principal de la coulée qui menace le village. Ailleurs dans les Pyrénées, dans la station de ski du Grand Tourmalet, ce sont des essences d'arbres soigneusement sélectionnées qui sont plantées et maintenues par des tripodes en bois pour diminuer les risques d'avalanches de neige. À Øyer, au nord de Lillehammer, un méandre de la rivière Søre Brynsåa a été réouvert pour protéger un projet immobilier, accompagné de la création d'une zone tampon ayant une capacité de rétention d'eau en cas de crue. Dans le bassin du Serchio, pour faire face à la combinaison unique de risques aussi divers que les sécheresses et les inondations extrêmes, les tremblements de terre et la pollution de l'eau, les experts ont aménagé des bandes tampons végétalisées le long des canaux d'irrigation, creusé des bassins de sédimentation et modifié le profil des canaux. La liste n'est pas exhaustive.

«Les solutions basées sur la nature entraînent également des cobénéfices à différents niveaux et dans différents secteurs, précise Anna Scolobig. C'est ce qui fait le succès de ce type de mesures. Elles améliorent en effet le sentiment de sécurité et la santé des populations concernées, tout en contribuant à l'atténuation des risques liés aux changements climatiques et en augmentant l'attractivité touristique d'une région, etc.»

Il existe probablement autant de solutions basées sur la nature qu'il existe de cas de figure différents. L'un des objectifs du projet Phusicos est l'évaluation des facteurs favorisant ou bloquant la mise en œuvre de ces mesures. Cela comprend non seulement la possibilité – ou l'impossibilité – physique de les construire mais aussi leur financement et la qualité de la gouvernance des régions concernées.

Anna Scolobig s'est plus particulièrement intéressée au rôle croissant qu'est appelé à jouer le secteur privé dans cette problématique. Dans un rapport publié en novembre 2022, elle et des collègues rappellent que le secteur public reste, à ce jour, le principal bailleur de fonds des solutions basées sur la nature, mais qu'il sera de moins en moins en mesure d'assumer les coûts croissants engendrés par les désastres naturels.

«Les entreprises privées jouent déjà un rôle essentiel dans les aspects critiques de ces solutions, explique Anna Scolobig. On trouve des entrepreneurs (sociétés de conseil et d'ingénierie, entreprises de construction, architectes paysagistes, fournisseurs de matériaux, sociétés de collecte de données) qui soutiennent presque toutes les étapes de la mise en œuvre

## IL EXISTE PROBABLEMENT AUTANT DE SOLUTIONS BASÉES SUR LA NATURE QU'IL EXISTE DE CAS DE FIGURE DIFFÉRENTS.

*de ces mesures, de la planification jusqu'aux opérations de construction et d'entretien sur le terrain. Leur expertise et leur savoir-faire représentent des conditions préalables fondamentales pour garantir la qualité et la réussite des solutions. Le problème, c'est que celles qui maîtrisent ces connaissances sont peu nombreuses. Nous avons donc cherché à mieux comprendre les défis et les obstacles auxquels est confronté le secteur privé et à trouver des idées pour les surmonter.»*

Trois stratégies clés ont été identifiées par les scientifiques pour renforcer l'implication du secteur privé dans la mise en œuvre de solutions basées sur la nature. La première, et la plus importante, consiste à mettre à disposition des entrepreneurs les connaissances nécessaires – sous la forme notamment de séminaires de formation technique – et l'expertise accumulée dans des projets tels que Phusicos. Cette stratégie prône également une amélioration de la collaboration avec le secteur public et les autres acteurs potentiels impliqués dans une SBN via des programmes ou des centres de services locaux, régionaux ou nationaux. La deuxième stratégie prend la forme d'un soutien aux entreprises qui peuvent avoir du mal à estimer et à générer des revenus en participant à l'élaboration de SBN. Cela demande, entre autres, la mise en place de politiques et de normes adaptées ainsi que le développement de techniques de financement innovantes. La troisième stratégie, enfin, consiste à réduire les risques en termes de retard et de dépassement de budget ainsi que de responsabilité afin de rendre les SBN plus attrayantes pour les investisseurs. Cela peut passer par des assurances couvrant ces risques ou des garanties offertes par les gouvernements.

HAUTE MONTAGNE

# L'HIMALAYA, SOUS LA MENACE DES VIDANGES DE LACS GLACIAIRES

UNE ÉTUDE RÉCENTE DIRIGÉE PAR DES CHERCHEURS DE L'UNIGE DÉMONTRE QUE LE RISQUE DE CRUES DUES À LA RUPTURE DE LACS GLACIAIRES DANS LA RÉGION DE L'HIMALAYA ET DU PLATEAU TIBÉTAIN **VA TRIPLER DANS LES DÉCENNIES À VENIR.**



## Simon Allen

Collaborateur scientifique à l'Institut des sciences de l'environnement

**Formation:** Il obtient sa thèse de doctorat en 2009 au Département de géographie de l'Université de Canterbury, en Nouvelle-Zélande.

**Parcours:** En 2009, il est engagé en tant que chercheur à l'Université de Berne. Il participe au GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) à différents postes. Il rejoint l'Université de Genève, ainsi que celle de Zurich en 2014.

**L**e 4 octobre dernier, un glissement de terrain à progression lente tombe dans le lac glaciaire South Lhonak, perché à plus de 5200 mètres d'altitude dans le nord de l'État indien du Sikkim. L'apport massif de terre et de pierre fait monter le niveau de l'eau qui déborde et ouvre une brèche dans la moraine qui la retient. La vidange brutale de plus de la moitié du volume du lac provoque une inondation éclair déferlant dans la vallée à une allure de 15 mètres par seconde. Les dégâts sont importants, plus de 150 maisons sont emportées et plusieurs ponts s'écroulent, isolant le centre touristique de Chungthang. Le premier barrage du complexe hydroélectrique sur la rivière Teesta, récemment construit, est totalement détruit par la masse d'eau et de débris, aggravant d'autant l'inondation éclair en aval suivie de son cortège de destructions. Quelque 54 personnes sont déclarées mortes et 141 sont portées disparues.

Le plus dramatique dans cette catastrophe naturelle, c'est qu'elle a été prédite et même modélisée il y a deux ans avec une précision troublante. Paru le 1<sup>er</sup> septembre 2021 dans *Geomorphology*, le scénario imaginé par des scientifiques, dont fait partie Simon Allen, chercheur à l'Institut des sciences de l'environnement, ne diffère avec la réalité que sur la cause de l'événement. Et encore. À la place d'un glissement de terrain proche du lac, c'est une avalanche de glace de roche venant des flancs de la montagne rendus instables par le réchauffement climatique qui provoque un tsunami sur South Lhonak, ouvrant une brèche dans la moraine. Il en résulte une vague de glace, d'eau, de boue et de rochers de 30 mètres de haut qui déferle sur la vallée et atteint le centre touristique de Chungthang trois heures plus tard. La simulation précise également que le barrage sur la rivière Teesta est touché.

**Un lac sous surveillance** Si cette simulation a été effectuée, c'est parce que le lac South Lhonak fait partie depuis plusieurs années d'un projet couvrant l'État du Sikkim et visant à instaurer des pratiques pour atténuer les risques en haute montagne, dont les vidanges brutales de lacs glaciaires. L'idée des scientifiques consiste à tester en conditions réelles les recommandations du Guide des meilleures pratiques pour l'évaluation des risques liés aux glaciers et au pergélisol, publié le 28 janvier 2022 dans la revue *Natural Hazard Science*, et dont le premier auteur est Simon Allen. Ce document combine une évaluation

et une cartographie des risques fondées sur des scénarios et des modélisations. Il contient aussi une check-list facile d'usage pour aider les experts locaux à prendre en compte les facteurs les plus importants qui déterminent les risques dans leur région.

La mise en œuvre de ces lignes directrices au Sikkim, à laquelle participent Simon Allen ainsi qu'Anna Scolobig et Markus Stoffel, respectivement collabo-

ratrice scientifique et professeur à l'ISE, et qui reçoit le soutien de la Direction du développement et de la coopération (DDC), a permis de dénombrier plus de 280 lacs glaciaires au Sikkim. En cartographiant ces derniers et les trajectoires potentielles des inondations ainsi que les installations hydroélectriques, les habitations, les routes et les terres agricoles, les scientifiques ont identifié deux lacs particulièrement préoccupants dont, précisément, le lac South Lhonak, l'un des plus grands et dont la croissance est la plus rapide.

Au moment de la catastrophe, les autorités indiennes et les experts suisses étaient en train de mettre en place des mesures susceptibles de réduire les risques futurs pour la population et l'économie de la région. Un système

**LE PLUS DRAMATIQUE DANS CETTE CATASTROPHE NATURELLE, C'EST QU'ELLE A ÉTÉ PRÉDITE ET MÊME MODÉLISÉE.**

## UNE AVALANCHE D'AVALANCHES

• Rangpo, dans l'État indien du Sikkim (image ci-contre), le 9 octobre 2023. À la suite d'une vidange d'un lac glaciaire de haute altitude le 4 octobre 2023 (lire l'article principal), une crue brutale a inondé la vallée de la Teesta, emportant des maisons et des ponts et endommageant une centrale électrique. Plusieurs dizaines de personnes ont été tuées.

• Le 7 février 2021, environ 27 millions de mètres cubes de roches et de glace s'effondrent de la face nord du pic Ronti, à Chamoli, dans l'État indien d'Uttarakhand. L'avalanche se transforme rapidement en une coulée de débris large et mobile qui transporte des blocs rocheux de plus de 20 mètres de diamètre et rabote les parois de la vallée jusqu'à 220 mètres au-dessus du fond, dévastant sur son passage deux projets hydroélectriques. Plus de 200 personnes sont tuées ou portées disparues.

• En juillet 2016, le lac glaciaire de Gongbatongshaco, au Tibet, rompt ses rives, envoyant brusquement d'énormes volumes d'eau dans la vallée. L'avalanche traverse la frontière du Népal, détruit la centrale hydroélectrique de Bhotekoshi et inonde l'autoroute reliant les deux pays. La catastrophe cause pour 70 millions de dollars de dégâts, mais ne fait aucune victime.

• En juin 2013, le Chorabari Tal, un bassin d'eau de pluie et d'eau de fonte perché dans l'Himalaya indien, dans lequel les cendres du mahatma Gandhi ont été immergées, se gonfle démesurément. La moraine glaciaire qui l'entoure cède. Des tombereaux de boue, de roches et d'eau dévalent le vallon et engloutissent le village de Kedarnath en contrebas, faisant des centaines de victimes.

d'alerte précoce amélioré, comprenant des plans d'évacuation et d'intervention d'urgence, était également en cours d'élaboration.

*« Il est regrettable que cette catastrophe se soit produite avant que nous ayons achevé l'installation complète du système d'alerte précoce prévue au cours de l'année prochaine, explique Simon Allen. Ce genre de dispositifs sont complexes et nécessitent de travailler avec les communautés locales et d'autres parties prenantes pendant un certain temps. J'espère que cette tragédie incitera les autorités à mettre davantage l'accent sur ce type de stratégies afin de réduire les risques associés au changement climatique rapide auquel est particulièrement soumis l'Himalaya. »*

**De catastrophe en catastrophe** Les vidanges brutales de lac glaciaire comme celle de South Lhonak et d'autres catastrophes similaires propres à la haute montagne sont appelées à se multiplier. En particulier dans ce qui est surnommé le « troisième pôle », à savoir la gigantesque région comprenant l'Hindu Kush-Himalaya, le plateau tibétain et les chaînes de montagnes environnantes. La dernière décennie enregistre de plus en plus d'événements similaires.

Dans un article de *Nature Climate Change* paru le mai 2021, une équipe codirigée par Markus Stoffel, professeur à l'Institut des sciences de l'environnement, et Simon Allen relève en effet que sous l'effet du réchauffement global, la formation de nouveaux lacs due au recul rapide des glaciers pourrait tripler le risque d'inondation pour les communautés et les infrastructures en aval.

En s'appuyant sur l'imagerie satellitaire et la modélisation topographique, les scientifiques ont évalué les risques associés aux 7000 lacs glaciaires recensés sur le troisième pôle. Un sur six (soit 1203 au total) présente actuellement un risque élevé à très élevé pour les communautés en aval, notamment dans les régions de l'Himalaya oriental et central de la Chine, de l'Inde, du Népal et du Bhoutan. Si rien ne change en matière d'émissions mondiales de

CO<sub>2</sub>, l'étude montre qu'une grande partie du troisième pôle pourrait s'approcher d'un état de risque maximal d'ici la fin du XXI<sup>e</sup> siècle. Plus de 13 000 lacs se rapprocheront progressivement des pentes abruptes et instables des montagnes dont la chute sur les plans d'eau pourrait provoquer de petits tsunamis et provoquer des inondations. Le nombre de lacs classés à haut ou très haut risque passerait ainsi de 1203 à 2963 et on verrait apparaître de nouveaux points chauds dans l'Himalaya occidental, le Karakorum et en Asie centrale.

**Problèmes transfrontaliers** La gestion des risques dans cette région du monde est d'autant plus complexe que le troisième pôle s'étend sur onze pays. Le risque de vidanges brutales de lacs glaciaires pouvant entraîner des catastrophes naturelles transfrontalières pourrait ainsi, lui aussi, doubler à l'avenir, selon la même étude. La région entre la Chine et le Népal est un point chaud majeur en la matière et le restera tandis que d'autres émergent, telles que les montagnes du Pamir entre le Tadjikistan et l'Afghanistan. *« Les régions transfrontalières sont particulièrement préoccupantes, déclare Simon Allen. Les tensions politiques peuvent constituer un véritable obstacle en empêchant le partage des données en temps voulu, la communication et la coordination nécessaires à une alerte précoce efficace et donc à l'atténuation des catastrophes. »*

Le problème des vidanges brutales de lacs glaciaires touche également la Suisse, dont les montagnes ne manquent pas de glaciers en plein recul. *« Cela représente toutefois une moins grande préoccupation qu'ailleurs, précise Simon Allen. Il y en a eu dans le passé et il y en aura certainement d'autres à l'avenir. Mais la plupart des glaciers instables, des pentes qui bougent ou des formations de lacs sont actuellement suivis de près. Et les barrages hydroélectriques, qui sont nombreux dans le pays, sont conçus pour résister à de tels événements. »*



## OÙ VA L'ARGENT ?

Dans le cadre du programme Adaptation at Altitude, lancé et soutenu par la Direction suisse du développement et de la coopération, Simon Allen, chercheur à l'Institut des sciences de l'environnement, a rédigé un rapport, *Le financement public de l'adaptation va-t-il aux régions montagneuses qui en ont le plus besoin ?*

Basé sur l'analyse de 444 projets mis en œuvre entre 2011 et 2019 dans 25 pays montagneux, ce document montre que les projets d'adaptation qui ciblent les régions montagneuses reçoivent en moyenne plus d'argent que les autres. Cela s'explique par les coûts plus importants engendrés l'étendue plus importante des espaces concernés par les risques naturels en montagne ainsi que

leur plus grand isolement.

Par ailleurs, la Suisse, avec ses 71,3 millions de dollars, est l'un des principaux contributeurs au financement bilatéral (de pays à pays) des projets d'adaptation dans les régions de montagne. Elle est suivie par l'Allemagne (70 millions), le Canada (64 millions), l'Australie (36 millions) et la France (27 millions). Cela dit, la grande majorité du financement provient de donateurs multilatéraux (88 %), dont les Fonds pour l'environnement mondial, le Fonds pour les pays les moins avancés ou encore le Fonds vert pour le climat. Les plus grands bénéficiaires sont la région de l'Hindu Kush-Himalaya (qui a reçu 1,8 milliard de dollars dont 1,1 milliard est allé à l'Inde),

suivie des Andes (428 millions de dollars), de l'Asie centrale (300 millions de dollars) et de l'Afrique (250 millions de dollars). Il en ressort aussi que l'aide financière à l'adaptation tend à se diriger vers les pays montagneux vulnérables mais pas vers les plus vulnérables. Ces derniers, tels que la République démocratique du Congo, l'Éthiopie, le Myanmar et la Tanzanie, n'ont ainsi reçu que peu de fonds pour l'adaptation des montagnes (17 % du total). Les donateurs semblent trouver un équilibre entre le besoin d'assistance du pays et sa capacité à mettre en œuvre l'adaptation. Le fait de favoriser uniquement les régions les plus vulnérables pourrait en effet mener à un échec en raison de leur incapacité à

réaliser les mesures proposées. L'étude suggère qu'en se concentrant davantage sur les projets d'adaptation venant des communautés montagnardes elles-mêmes (bottom-up), les donateurs pourraient obtenir de meilleurs résultats dans les pays les plus vulnérables. Ces initiatives communautaires ne sont généralement pas aussi dépendantes des institutions nationales et des structures de gouvernance. Cela signifie que des projets d'adaptation ciblés travaillant avec des ONG et des communautés locales pourraient être couronnés de succès et durables même dans les pays où le niveau de préparation est faible.