

Zeitschrift: bulletin.ch / Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse
Band: 113 (2022)
Heft: 1-2

Artikel: Mieux gérer et protéger les infrastructures = Optimierter Schutz und Betrieb der Infrastruktur
Autor: Jordan, Frédéric / Germann, Urs
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1037064>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 03.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>



Vue aérienne du village de Cressier suite aux intempéries du 22 juin 2021.

Mieux gérer et protéger les infrastructures

Vers une meilleure utilisation des données radar météo | Les orages violents peuvent avoir des conséquences importantes sur les infrastructures alpines et urbaines ainsi que sur la gestion des ouvrages hydroélectriques. Prévoir la hauteur de leurs précipitations aussi tôt que possible, avec une précision spatio-temporelle élevée, est toutefois un exercice très complexe. Le projet Radar4Infra s'y consacre.

FRÉDÉRIC JORDAN, URS GERMANN

Les orages violents sont de plus en plus nombreux en Suisse et, ces dernières années, plusieurs événements ont eu des conséquences désastreuses. Dans le Val d'Anniviers, les centrales hydroélectriques de Mottec et Vissoie ont été mises hors service. À Lausanne, la gare CFF et le centre-ville ont été submergés. Au Val-de-Ruz et à Chamoson, des morts ont été déplorés. Ou encore récemment, en juin 2021, un orage exceptionnel a frappé le village de Cressier, dans le canton de Neuchâtel (**figure de titre**).

Si des orages violents ont toujours été observés, leur recrudescence peut être remarquée depuis plusieurs années en raison du dérèglement climatique. Ce sentiment est d'ailleurs confirmé par

les données les plus exhaustives, qui soulignent une augmentation jusqu'à 20 % des intensités fortes dans les Alpes ou les Cévennes [2]. De plus, le développement territorial et l'extension des zones urbaines conduisent non seulement à une imperméabilisation dangereuse de la surface, mais aussi à une concentration des biens à proximité des cours d'eau ou dans les agglomérations. Ainsi, le risque lié à de tels événements augmente chaque année.

Malheureusement, ces événements sont difficilement prévisibles. À grande échelle, le développement des cellules convectives est conditionné par l'instabilité de l'atmosphère et la convergence des vents dans la couche limite atmosphérique, mais à petite échelle, ce déve-

loppement est presque aléatoire. En quelques dizaines de minutes, le phénomène se développe, se déplace, avant de se transformer en forte précipitation localisée. Les modèles numériques de prévisions météorologiques, même pourvus d'une très haute résolution avec une maille de 1 km, ne parviennent que rarement à anticiper la formation d'un orage convectif au bon moment et au bon endroit. Pour cette raison, les mesures des précipitations par radar sont d'une grande utilité.

Le projet Radar4Infra, soutenu par Innosuisse, a pour objectif d'améliorer tous les composants de la chaîne de prévisions, dans le but d'émettre des alertes avertissant de risques d'inondation dans les villes ou de débordement

des torrents sensibles à ces crues éclair. Les centrales hydroélectriques seront ainsi mieux à même de prévoir d'éventuels défauts des captages sur les torrents réduisant la production au fil de l'eau ou l'approvisionnement de stations de pompage. Cela leur permettra aussi d'améliorer la prévisibilité du productible à très court terme pour le trading intraday ou le réglage.

Améliorer l'estimation de l'intensité des précipitations

Les défis sont nombreux. Il s'agit tout d'abord d'améliorer l'estimation des intensités de pluie observées par le radar. En effet, l'interprétation du fameux Z, soit la réflectivité du signal radar, doit permettre de distinguer la taille des gouttes, mais aussi les types de cristaux de neige ou de grêle présents dans les nuages. Cette interprétation délicate conduit à la valeur de l'intensité des précipitations, facteur prépondérant pour déterminer le débit des cours d'eau. Des techniques de machine learning (apprentissage automatique) sont alors développées pour

réduire les incertitudes liées à la modélisation physique déterministe du signal. Finalement, cette opération doit être réalisée toutes les 5 min pour répondre à l'évolution très rapide de ces phénomènes. Le système actuel, basé sur CombiPrecip [3] et RainForest [4], sera amélioré grâce à ce projet.

Mieux prévoir les orages

La détermination de la précipitation actuelle sur le territoire n'est toutefois pas suffisante, loin de là. Pour bénéficier d'une capacité d'anticipation qui permettra de se protéger contre une crue éclair, il faut réussir à deviner l'évolution de l'orage, en particulier son renforcement ou sa diminution, ainsi que son déplacement. Dans l'idéal, prévoir cette évolution plusieurs heures à l'avance permettrait d'obtenir une protection efficace. Cependant, le développement des orages est un phénomène chaotique, ce qui implique une très grande incertitude.

Les techniques pour réaliser cette prévision se basent sur la combinaison des derniers signaux radar, sur l'intégration

des données des modèles de prévisions météorologiques, dont le champ de vent, et sur l'élaboration de plusieurs scénarios de développements possibles appelés « Ensembles ». La prévision est calculée en faisant évoluer l'image initiale typiquement par déplacements basés sur la vitesse du vent à l'altitude du nuage. Une fusion progressive avec le modèle de prévision météorologique permet de disposer d'une bonne prévision allant des prochaines 5 min à 6 h, avant de laisser place aux autres modèles pour les échéances plus longues (figure 1a). Le système décrit ci-dessus, NowPrecip [5], est combiné au système Inca (Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis system) et fonctionne déjà depuis quelques années à l'Office fédéral de météorologie. Ses performances doivent toutefois être améliorées, car le taux de détection de fortes intensités 60 min à l'avance est actuellement de l'ordre de 30%. Cela signifie que de nombreux orages sont mal prévus: soit ils sont anticipés au mauvais endroit, soit ils ne sont tout simplement pas générés par le modèle.

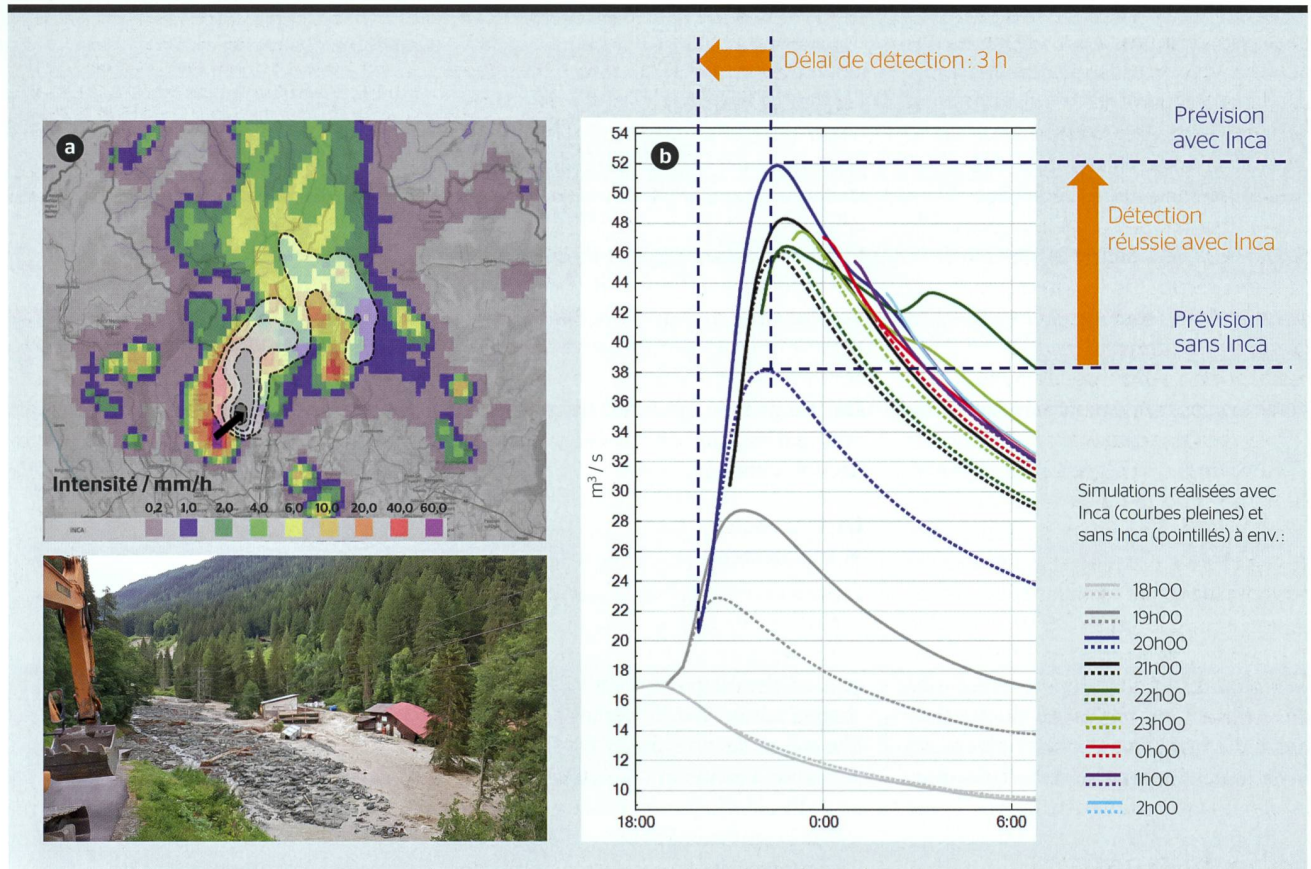


Figure 1 Exemple de prévision radar appliquée à l'événement de Mottec dans le val d'Anniviers le 3 juillet 2018 (a), et débit maximum prévu avec ou sans utilisation du système Inca (b). Grâce à Inca, le modèle parvient à détecter la pointe de la crue 3 h à l'avance (traits pleins), tandis que sans Inca, le modèle ne voit la pointe de la crue que lorsqu'elle est presque déjà mesurée.

Grâce aux Ensembles, ce taux de détection devrait progresser et permettre une prévision plus fiable.

Prévision locale des débits pour des alarmes plus fiables

Ensuite, le calcul des écoulements dans les villes et les cours d'eau doit permettre de transformer l'information relative aux futures précipitations en une information locale de débit. Cette opération n'est pas triviale, car la formation du débit dépend de nombreux paramètres tels que l'humidité du sol, l'état de la canopée (étage supérieur de la forêt), l'imperméabilisation de la surface du terrain ou la morphologie de ce dernier. Ces paramètres sont spatialement très hétérogènes et leur connaissance lacunaire conduit également à des incertitudes, en particulier en montagne. Les modèles de simulation pluie-débit sont alors améliorés grâce aux mesures de hauteur d'eau ou de débit dans les canalisations et les cours d'eau [6, 7].

La problématique soulevée par le projet Radar4Infra consiste à réussir une modélisation satisfaisante à petite échelle (quelques km²) sur des bassins versants dont le temps de réponse est de quelques minutes. Dans ce contexte, des imprécisions du modèle telles que le décalage temporel de l'onde de crue ont des conséquences importantes sur la fiabilité de la prévision, et en particulier sur le débit maximum prévu (figure 1b). Des adaptations des modèles, dont l'assimilation des données de débit, le post-processing ou la cinématique des écoulements, sont étudiées. Par ailleurs, des alternatives au modèle pluie-débit sont développées par machine learning pour permettre de réduire les incertitudes.

Finalement, l'algorithme d'émission automatique d'alarmes doit être développé. Il ne s'agit pas uniquement de déclencher un signal en cas de dépassement de seuil prévu, mais aussi de tenir compte des incertitudes des prévisions. L'analyse rétrospective des Ensembles doit ainsi permettre de déterminer les règles de déclenchement d'alertes ayant pour objectif de maximiser le taux de détection, tout en réduisant les fausses alarmes.

Les premiers résultats

Les premiers résultats du projet Radar4Infra permettent de définir la fiabilité des prévisions en fonction de la

situation de départ. En effet, des archives des prévisions Inca existent et permettent le calcul de prévisions a posteriori. Cette opération de « réanalyse » est appelée « hindcast » en anglais.

La chaîne opérationnelle actuelle fonctionne de la manière suivante : les prévisions de précipitations Inca sont actualisées toutes les 5 min et sont exploitées pour une alerte jusqu'à 90 min en avance. Plusieurs seuils d'intensité de précipitation sont définis, ainsi que de débit où cela est possible. Les dépassements de seuils prévus entre +0 et +90 min sont comparés aux observations et évalués selon leur probabilité de détection (hit rate) et leur taux de fausse alarme (False Alarm Ratio, FAR).

Le premier résultat porte sur la prévision des fortes intensités de précipitations, soit des valeurs cumulées supérieures à 8,33 mm en 1 h. En moyenne sur 36 mois et sur 153 stations de mesure des précipitations, la probabilité de détection à 90 min se situe autour de 40 %, tandis que le taux de fausse alarme est de 30 %. Ainsi, le lecteur remarque que la probabilité de détection fiable est relativement faible et qu'une amélioration de cet indicateur est souhaitable.

Le second résultat porte sur la prévision du débit du Flon à Lausanne, précisément à l'endroit où les dégâts ont été observés le 12 juin 2018. Dans ce cas, les performances de la cascade hydro-météorologique sont assez similaires à celles observées sur les précipitations. Pour les événements avec un débit d'environ 30 m³/s, la probabilité de détection se situe autour de 45 %, pour un taux de fausse alarme de 40 %. Pour les débits plus importants, le taux de fausse alarme grimpe à 100 %. La marge de progression, on le voit, est ici encore très importante.

Un défi scientifique et technique

En raison du dérèglement climatique, de l'imperméabilisation des sols et de la concentration des biens, les conséquences des orages extrêmes s'aggravent chaque année. Améliorer les prévisions d'orage et de crue éclair est donc une nécessité. Ce travail constitue toutefois un défi scientifique et technique en raison de la nature chaotique des processus de formation des orages, du manque de données en basse couche atmosphérique et dans les cours d'eau, et de la multitude de processus naturels à reproduire.

Si les outils existants constituent un bon point de départ, il s'agit encore non seulement de les maîtriser, mais aussi de les améliorer. En particulier, l'amélioration des méthodes de prévision passe par une augmentation importante de la charge de calcul en raison, d'une part, de la multiplication des scénarios probabilistes liés aux Ensembles et, d'autre part, de la combinaison de méthodes de simulation et de machine learning. Enfin, l'instrumentation du terrain, permettant de développer de la connaissance à long terme, est un facteur de succès incontournable de cette idée.

Les systèmes d'information destinés à mieux prévenir les autorités comme les individus permettront de réduire les coûts des dommages ainsi que d'adapter les infrastructures et les comportements à des situations dangereuses, dont il est attendu qu'elles se produisent de plus en plus souvent.

Références

- [1] arcinfo.ch/articles/regions/inondations-a-cressier-le-jour-d-apres-1084919.
- [2] A. Ribes, S. Thao, R. Vautard, B. Dubuisson, S. Somot, J. Collin, S. Planton, J.-M. Soubeyroux, « Observed increase in extreme daily rainfall in the French Mediterranean », *Climate Dynamics* 52, p. 1095-1114, 2019. doi.org/10.1007/s00382-018-4179-2.
- [3] I. V. Sideris, M. Gabella, R. Erdin, U. Germann, « Real-time radar-rain-gauge merging using spatio-temporal co-kriging with external drift in the alpine terrain of Switzerland », *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* 140, p. 1097-1111, 2014. doi.org/10.1002/qj.2188.
- [4] D. Wolfensberger, M. Gabella, M. Boscacci, U. Germann, A. Berne, « RainForest : a random forest algorithm for quantitative precipitation estimation over Switzerland », *Atmos. Meas. Tech.* 14, p. 3169-3193, 2021. doi.org/10.5194/amt-14-3169-2021.
- [5] I. V. Sideris, L. Foresti, D. Nerini, U. Germann, « Now-Precip : localized precipitation nowcasting in the complex terrain of Switzerland », *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* 146, p. 1768-1800, 2020. doi.org/10.1002/qj.3766.
- [6] F. Jordan, « Modèle de prévision et de gestion des crues - Optimisation des opérations des aménagements hydroélectriques à accumulation pour la réduction des débits de crue », PhD thesis n° 3711, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Suisse, 2007.
- [7] F. Jordan, J.-L. Boillat, R. Martinier, « Modélisation du réseau d'assainissement de la ville de Lausanne - Outil de diagnostic et de planification », *Gas-Wasser-Abwasser GWA*, 3/2010.

Auteurs

Frédéric Jordan est co-fondateur et directeur d'Hydrique Ingénieurs.

→ Hydrique Ingénieurs, 1052 Le Mont-sur-Lausanne
→ fred.jordan@hydrique.ch

Urs Germann est chef de la division Radar, satellites et nowcasting à l'Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse.

→ Office fédéral de météorologie et de climatologie
MétéoSuisse, 6605 Locarno-Monti
→ urs.germann@meteoswiss.ch

Projet d'innovation InnoSuisse 48218.1 IP-EE, le projet Radar4Infra est réalisé par Hydrique Ingénieurs, MétéoSuisse, l'EPFL et l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), avec le soutien des partenaires du projet suivants : le Canton du Valais, Alpiq SA, la Ville de Lausanne et la Ville de Bâle.



Luftaufnahme des Dorfes Cressier nach dem Gewitter vom 22. Juni 2021.

Optimierter Schutz und Betrieb der Infrastruktur

Wetterradardaten besser nutzen | Starke Gewitter können erhebliche Auswirkungen auf die alpine und städtische Infrastruktur sowie auf den Betrieb von Wasserkraftwerken haben. Es ist jedoch sehr anspruchsvoll, Niederschlagsintensitäten von Gewittern so früh wie möglich mit einer hohen räumlichen und zeitlichen Genauigkeit vorherzusagen. Das Projekt Radar4Infra widmet sich dieser Aufgabe.

FRÉDÉRIC JORDAN, URS GERMANN

Starke Gewitter treten in der Schweiz immer öfter auf. Zahlreiche Ereignisse führten in den vergangenen Jahren zu grossen Schäden. Im Val d'Anniviers wurden die Wasserkraftwerke Mottec und Vissoie ausser Betrieb gesetzt. In Lausanne wurde der Hauptbahnhof und das Stadtzentrum überschwemmt. Im Val-de-Ruz und in Chamoson waren Tote zu beklagen. Und im Juni 2021 hat ein aussergewöhnlich starkes Gewitter das Dorf Cressier im Kanton Neuenburg heimgesucht (**Einstiegsbild**).

Heftige Gewitter wurden zwar schon immer beobachtet, aber in den letzten Jahren hat der Klimawandel zu einer

Zunahme der Gewitter geführt. Dieser Eindruck wird durch zahlreiche Daten bestätigt, die eine Zunahme der starken Intensitäten in den Alpen oder Cevennen um bis zu 20% belegen.[2] Darüber hinaus führen die räumliche Entwicklung und die Ausdehnung von Siedlungsgebieten nicht nur zu einer gefährlichen Versiegelung der Oberfläche, sondern auch zu einer Konzentration von Gütern in der Nähe von Flüssen oder in Ballungsräumen. So steigt das Risiko, das von solchen Ereignissen ausgeht, von Jahr zu Jahr.

Leider sind solche Ereignisse nur schwer vorhersehbar. Im grossen Massstab wird die Entwicklung von konvek-

tiven Zellen durch Instabilitäten in der Atmosphäre und die Konvergenz von Winden in den atmosphärischen Grenzschichten beeinflusst. Im kleinen Massstab geschieht dies jedoch fast zufällig. In einigen Minuten entwickelt sich dieses Phänomen, verschiebt sich, um sich dann in starke lokale Niederschläge zu transformieren. Die numerischen Modelle der Wettervorhersagen – obwohl mit einer hohen Auflösung von 1 km ausgestattet – schaffen es nur selten, die Bildung von konvektiven Gewittern im richtigen Moment und am richtigen Ort vorauszusagen. Deshalb können Niederschlagsmessungen mit Radar von grossem Nutzen sein.

Das Projekt Radar4Infra, unterstützt durch Innosuisse, hat zum Ziel, alle Komponenten der Vorhersage-Prozesskette zu verbessern, um genauere Warnungen für Hochwasserrisiken in Städten oder entlang betroffener Gewässer bereitzustellen. Betreiber von Wasserkraftwerken ihrerseits möchten in der Lage sein, mögliche Ausfälle von Wasserzuflüssen besser vorherzusehen. Dies würde ihnen erlauben, die kurzfristige Stromproduktion für den Intraday-Handel oder die Regulierung besser zu planen.

Verbesserung der Abschätzung der Niederschlagsintensitäten

Es gibt zahlreiche Herausforderungen. Zunächst geht es darum, die Schätzung der vom Radar beobachteten Regenintensität zu verbessern. Konkret muss die Interpretation des bekannten Parameters Z (Reflexion des Radarsignals), erlauben, die Tropfengrösse des Regens wie auch die Typen der Schneekristalle oder das Vorhandensein von Hagelkörnern in den Wolken zu unterscheiden. Diese Interpretation führt zu den Werten der Niederschlagsintensitäten, was

der ausschlaggebende Faktor für die Abflussbestimmung in den Gewässern ist. Machine-Learning-Techniken wurden entwickelt, um die Unsicherheiten bei den deterministischen Modellierungen des Signals zu reduzieren. Schliesslich muss dieser Schritt alle fünf Minuten durchgeführt werden, um der raschen Entwicklung dieser Phänomene gerecht werden zu können. Das aktuelle System, basierend auf Combiprecip [3] und RainForest [4], soll dank dem Projekt verbessert werden.

Gewitter besser vorhersagen

Die Bestimmung des aktuellen Niederschlags in einem Gebiet reicht jedoch bei Weitem nicht aus. Um von einer Antizipationsfähigkeit zu profitieren, die es ermöglicht, sich vor einem durch Gewitter verursachten Hochwasser zu schützen, muss es gelingen, die Entwicklung des Gewitters zu errahnen, insbesondere seine Verstärkung oder Abnahme sowie seine Verlagerung. Im Idealfall würde die Vorhersage dieser Entwicklung einige Stunden im Voraus erfolgen, um einen wirksamen Schutz zu ermögli-

chen. Die Entwicklung von Gewittern ist jedoch ein chaotisches Phänomen, was eine grosse Unsicherheit mit sich bringt.

Die Techniken, um diese Vorhersagen umzusetzen, basieren auf einer Kombination aus den vorher beschriebenen Radarsignalen, der Integration der Daten der Wetterprognosemodelle (u.a. Windfelder) und der Erstellung von mehreren möglichen Entwicklungsszenarien, sogenannten «Ensembles». Die Vorhersage wird berechnet, indem ein typischer Anfangszustand basierend auf Windgeschwindigkeiten auf Wolkenhöhe verschoben wird. Eine laufende Verbindung mit dem Wetterprognosemodell erlaubt es, eine gute Vorhersage für die nächsten fünf Minuten bis sechs Stunden zu erzeugen, bevor andere Modelle weitere Ergebnisse für längere Zeithorizonte liefern (Bild 1a). Das System NowPrecip [5] ist mit dem System Inca (Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis system) kombiniert und wird seit einigen Jahren bei MeteoSchweiz eingesetzt. Seine Leistungsfähigkeit muss jedoch weiter verbessert werden, weil die Detektionsrate von Starkintensi-

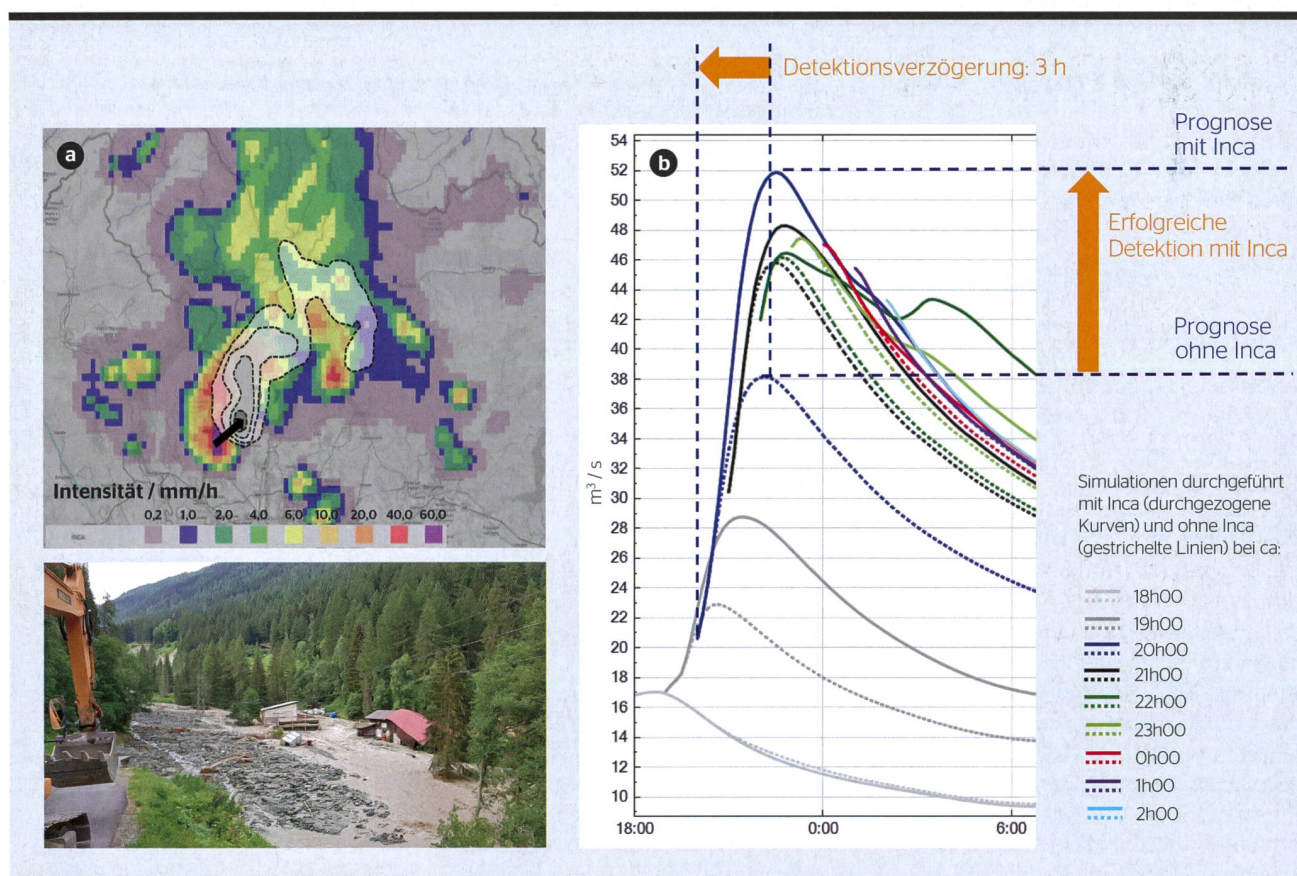


Bild 1 Beispiel einer Radarvorhersage, angewendet auf das Ereignis von Mottet im Val d'Anniviers am 3. Juli 2018 (a), und maximaler Abfluss mit und ohne Inca prognostiziert (b). Dank Inca kann das Modell die Hochwasserspitze 3 Stunden im Voraus vorhersehen, während das Modell ohne Inca die Hochwasserspitze nicht erkennt, obwohl sie gemessen wurde.

täten 60 Minuten im Voraus aktuell nur bei 30% liegt. Das bedeutet, dass viele Gewitter schlecht vorhergesagt werden: Sei es, dass ihr Ort schlecht prognostiziert wird, sei es, dass sie durch das Modell gar nicht erfasst werden. Dank den Ensembles sollten diese Detektionsraten verbessert werden und eine verlässlichere Vorhersage erlauben.

Lokale Abflussvorhersage für verlässliche Warnungen

Die Berechnung der Fließwege in den Städten und den Gewässern soll die Umwandlung von zukünftigen Niederschlägen in lokale Informationen zu den Abflüssen erlauben. Diese Arbeit ist nicht einfach, da die Abflussbildung von zahlreichen Parametern wie der Bodenfeuchte, dem Blätterdach in den obersten Bereichen von Wäldern oder von der Durchlässigkeit und Morphologie der Böden abhängt. Diese Parameter sind räumlich sehr heterogen und ihre lückenhafte Kenntnis führt zu Unsicherheiten, speziell in Berggebieten. Die Niederschlag-Abfluss-Modellierungen werden daher durch Wasserstand- oder Abflussmessungen in den Kanalisationsleitungen oder den Gewässern verbessert. [6, 7]

Die vom Projekt Radar4Infra aufgeworfene Problematik besteht darin, zufriedenstellende Modellierungen für einen kleinen räumlichen Massstab (einige km²) mit kleinen Einzugsgebieten mit einer Reaktionszeit von einigen Minuten zu ermöglichen. In diesem Kontext haben Modellungenauigkeiten wie die zeitliche Verschiebung der Flutwelle erhebliche Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit der Vorhersage, speziell auf die prognostizierte Hochwasserspitze (Bild 1b). Modellanpassungen mit Aufbereitung von Abflussdaten oder durch Nachprozessierungen von Oberflächenabflüssen werden berücksichtigt. Weiter werden mit Machine Learning Alternativen zum Niederschlag-Abfluss-Modell entwickelt, um Unsicherheiten weiter zu reduzieren.

Schliesslich muss der Algorithmus zur automatischen Ausgabe von Alarmen weiterentwickelt werden. Dabei geht es nicht nur darum, ein Signal auszulösen, wenn ein prognostizierter Schwellenwert überschritten wird, sondern auch darum, die Unsicherheiten der Prognosen zu berücksichtigen. Die retrospektive Analyse der Ensembles soll somit die Regeln für die Aus-

lösung von Alarmen bestimmen, damit Detektionsraten maximiert und Fehlalarme minimiert werden können.

Erste Ergebnisse

Die ersten Resultate des Projekts Radar4Infra erlauben es, die Zuverlässigkeit der Prognosen in Funktion des Ausgangszustands zu definieren. So können beispielsweise Vorhersage-Berechnungen auf der Basis von existierenden Inca-Vorhersagedaten durchgeführt werden. Dieser Arbeitsschritt der «Re-Analyse» wird im Englischen «hindcast» genannt.

Die Prozesskette funktioniert wie folgt: Die Inca-Niederschlagsprognosen werden alle fünf Minuten aktualisiert und für Warnungen bis 90 Minuten im Voraus genutzt. Mehrere Niederschlagsintensitäts-Alarmwerte werden definiert, auch für Abflüsse oder andere Parameter. Alarmwert-Überschreitungen zwischen 0 und 90 Minuten werden mit Messwerten verglichen und bezüglich ihrer Detektionsrate (Hit Rate HIT) und ihrer Fehlalarmrate (False Alarm Ratio FAR) beurteilt.

Die ersten Ergebnisse beziehen sich auf Niederschlagsintensitäten mit kumulierten Werten von über 8,33 mm in 1 h. Über 36 Monate und für 153 Niederschlags-Messstationen liegt der HIT für 90 Minuten im Mittel im Bereich von 40%, während der FAR bei 30% liegt. Dieser HIT ist noch relativ schwach und muss verbessert werden.

Die zweiten Ergebnisse beziehen sich auf Abflussprognosen des Baches Flon in Lausanne, genau an der Stelle, wo am 12. Juni 2018 Hochwasserschäden aufgetreten sind. Für diesen Fall ist die Performance der hydro-meteorologischen Prozesskette ähnlich derjenigen der Niederschläge. Für Ereignisse mit Abflüssen von ca. 30 m³/s liegt der HIT-Wert bei ca. 45%, bei einem FAR-Wert von rund 40%. Für grössere Abflüsse kann der FAR-Wert bis zu 100% ansteigen. Das Verbesserungspotenzial ist also noch gross.

Eine wissenschaftliche und technische Herausforderung

Aufgrund der Klimaveränderung, der Versiegelung der Böden und der Konzentration der Sachwerte werden die Auswirkungen von starken Gewitterereignissen Jahr für Jahr schlimmer. Die Verbesserung der Gewittervorhersagen ist daher enorm wichtig. Diese

Arbeit stellt aufgrund der chaotischen Natur der Gewitterbildung, der fehlenden Daten in den unteren Atmosphärenbereichen und der Vielfalt der natürlichen Prozesse eine grosse wissenschaftliche und technische Herausforderung dar.

Auch wenn die heutigen Werkzeuge ein guter Ausgangspunkt sind, so sind sie noch deutlich zu verbessern. Die Verbesserung der Prognosemethoden bedingt eine Erhöhung der Rechenleistung, einerseits durch die Vervielfachung der probabilistischen Szenarien der Ensembles, andererseits durch eine Kombination mit Simulationsmethoden des Maschinellen Lernens. Schliesslich ist auch der Ausbau der Messnetze und der langfristigen Datengrundlagen ein wichtiger Erfolgsfaktor für diesen Prozess.

Die Verbesserung dieser Informationssysteme erlaubt es Behörden und Privaten, auf immer häufiger auftretende Gefahrenereignisse besser vorbereitet zu sein und gezielter zu reagieren.

Referenzen

- [1] arcinfo.ch/articles/regions/inondations-a-cressier-le-jour-d-apres-1084919.
- [2] A. Ribes, S. Thao, R. Vautard, B. Dubuisson, S. Somot, J. Colin, S. Planton, J.-M. Soubeyrou, «Observed increase in extreme daily rainfall in the French Mediterranean», *Climate Dynamics* 52, S. 1095-1114, 2019. doi.org/10.1007/s00382-018-4179-2.
- [3] I. V. Sideris, M. Gabella, R. Erdin, U. Germann, «Real-time radar-rain-gauge merging using spatio-temporal co-kriging with external drift in the alpine terrain of Switzerland», *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* 140, S. 1097-1111, 2014. doi.org/10.1002/qj.2188.
- [4] D. Wolfensberger, M. Gabella, M. Boscacci, U. Germann, A. Berne, «RainForest: a random forest algorithm for quantitative precipitation estimation over Switzerland», *Atmos. Meas. Tech.* 14, S. 3169-3193, 2021. doi.org/10.5194/amt-14-3169-2021.
- [5] I. V. Sideris, L. Foresti, D. Nerini, U. Germann, «Now-Precip: localized precipitation nowcasting in the complex terrain of Switzerland», *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* 146, S. 1768-1800, 2020. doi.org/10.1002/qj.3766.
- [6] F. Jordan, «Modèle de prévision et de gestion des crues – Optimisation des opérations des aménagements hydroélectriques à accumulation pour la réduction des débits de crue», PhD thesis n° 3711, EPFL, 2007.
- [7] F. Jordan, J.-L. Boillat, R. Martinerie, «Modélisation du réseau d'assainissement de la ville de Lausanne – Outil de diagnostic et de planification», Gas-Wasser-Abwasser GWA, 3/2010.

Autoren

Frédéric Jordan ist Mitgründer und Direktor von Hydrique Ingénieurs.

→ [Hydrique Ingénieurs, 1052 Le Mont-sur-Lausanne](mailto:HydriqueIngénieurs,1052LeMont-sur-Lausanne)
→ fred.jordan@hydrique.ch

Urs Germann leitet die Division Radar, Satelliten und Nowcasting beim Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz.

→ Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie
MeteoSchweiz, 6605 Locarno-Monti
→ urs.germann@meteoswiss.ch

Innovationsprojekt InnoSuisse 48218.1 IP-EE, das Projekt Radar4Infra wird durch Hydrique Ingénieurs, Meteo-Schweiz, EPFL und das Bundesinstitut WSL durchgeführt, mit Unterstützung der folgenden Projektpartner: Kanton Wallis, Alpiq AG, Stadt Lausanne und Stadt Basel.