



RAPPORT D'ACTIVITÉS 2021

crealp
///

Centre de recherche sur l'environnement alpin
Zentrum für alpine Umweltforschung
Research center on alpine environment



*Toute l'équipe du CREALP vous remercie de la confiance
témoignée durant l'année 2021.*

*Au-delà des bons résultats dans nos différents domaines
d'expertise, nous recevons également plusieurs
témoignages de nos partenaires soulignant leur
satisfaction quant à la qualité de nos prestations et au
professionnalisme dont nous faisons preuve.*

*Nous sommes sur la bonne voie, tous nos rêves peuvent
devenir réalité pour construire, ensemble, un futur
meilleur.*

crealp
///

LE MOT DU PRÉSIDENT	4
LE MOT DU DIRECTEUR	5
LE CREALP	6
NOUVEAU SITE INTERNET	13
EAU ET CHANGEMENT CLIMATIQUE	14
MODÉLISATION	16
MONITORING ENVIRONNEMENTAL	20
ÉNERGIES RENOUVELABLES	24
GESTION INTÉGRÉE DES RESSOURCES EN EAU	26
INNOVATION	28
ÉVÉNEMENTS	30
PUBLICATIONS	38
FORMATION	44
NOUVEAUX COLLABORATEURS	46
BUDGET ET FINANCES	50
NOS PARTENAIRES	52



LE MOT DU PRÉSIDENT

Dans un canton exposé aux dangers naturels ainsi qu'aux effets du réchauffement climatique, la légitimité des activités du CREALP est une réponse aux défis présents et futurs. Étudiants, doctorants, ingénieurs, spécialistes s'y côtoient depuis plus de 50 ans, permettant ainsi d'améliorer continuellement son expertise et d'asseoir sa notoriété nationale et internationale.

Le réchauffement climatique a des conséquences immédiates et visibles en Valais. L'importance de la recherche appliquée et de la récolte de données, en particulier dans le domaine des crues et des instabilités de terrain, en est renforcée. Ces phénomènes climatiques influencent l'état des ressources naturelles, en particulier les ressources en eau. Le CREALP apporte son expertise à plusieurs collectivités lors de leurs réflexions stratégiques portant sur l'approvisionnement durable et la gestion raisonnée de cette précieuse ressource.

La situation géopolitique soulève d'inquiétantes questions sur la dépendance de notre société aux énergies fossiles. Le CREALP s'engage résolument dans la valorisation des ressources énergétiques naturellement présentes dans le sous-sol de notre Canton en particulier son important potentiel géothermique.

En juin 2021, le Conseil de Fondation a pris acte du départ de M. Jean-Daniel Rouiller, qui y siégeait comme représentant de l'Etat du Valais. Ancien Géologue cantonal, Jean-Daniel a joué un

rôle déterminant dans le développement des activités et de la pluricom pétence du CREALP, spécificités qui ont forgé la crédibilité scientifique de notre Fondation et font aujourd'hui sa renommée. Personnage indissociable de l'histoire du CREALP depuis 1987, apprécié tout autant pour sa détermination, sa force de travail que pour son humour tranchant et son mythique franc parlé, Jean-Daniel a joué un rôle prépondérant dans l'amélioration des connaissances et la prévention des dangers géologiques et sismiques en Valais, dont il est l'un des experts incontestés. Les membres du Conseil de Fondation, la Direction et les collaborateurs le remercient chaleureusement pour ses décennies d'engagement en faveur du CREALP.

Pour ces raisons, lors de sa séance du 10 juin 2021, le Conseil de Fondation a nommé M. Jean-Daniel Rouiller Membre d'honneur du CREALP.

Raphaël Marclay

Président du Conseil de Fondation

Sion, le 15 juin 2022



LE MOT DU DIRECTEUR

Je tiens à féliciter les collaboratrices et collaborateurs du CREALP qui ont accompli, avec succès, un travail remarquable. Cette réussite est doublement saluée tant au niveau opérationnel que financier: elle a été obtenue durant la pandémie où il a fallu faire preuve d'adaptation, de motivation et de persévérance pour mener à bien le fonctionnement du centre.

La fondation que je dirige avance dans la bonne direction grâce aux fortes compétences de notre équipe dynamique, à sa forte cohésion mais également à son vécu : le 55^{ème} anniversaire de la création de notre institution, initialement dénommée CRSFA arrive à grands pas, et nous profiterons de cette occasion pour marquer l'évènement en 2023. En ce qui me concerne, je suis très fier d'être le Directeur d'une équipe toujours enthousiaste à poser les questions les plus pertinentes, qui a une haute capacité de proposition et qui a largement les compétences de proposer des solutions innovantes pour traiter les défis environnementaux actuels.

Nos initiatives de communication en 2021 représentent un axe fondamental pour stimuler la visibilité de notre institution, notamment par la diffusion de notre savoir-faire à travers une série d'activités, comme le rajeunissement de notre site internet, un rapport d'activités de très haute qualité, nos news les plus intéressantes sur LinkedIn, une sympathique newsletter diffusée en interne ainsi que la communication sur les médias, la publication d'articles et la participation à des conférences. Nous avons aussi exploré des sources de financement complémentaires telles qu'Innosuisse, le FNS, la Loterie Romande, etc. afin de compléter nos sources de financement et de renforcer nos compétences métier.

Bien qu'il y ait encore du chemin à parcourir, je suis très optimiste pour l'avenir du CREALP. Je crois fortement à notre nature interdisciplinaire pour relever les défis environnementaux d'aujourd'hui, qui exigent la participation de nous tous. L'objectif à court et moyen terme est d'améliorer en continu notre savoir-faire pour proposer des prestations fondamentales pour l'environnement. Nous devons consolider notre rôle dans l'arc alpin en tant que structure-relais entre les institutions publiques, le monde académique et les structures privées.

Je tiens à remercier sincèrement le soutien inconditionnel des membres du Conseil de Fondation (plus particulièrement notre cher président Monsieur Raphaël Marclay) ainsi que le Groupe d'Appui Technoscientifique pour sa motivation à donner une nouvelle dynamique dès l'année 2022. Je tiens également à remercier tous les collaborateurs du CREALP pour le chemin que nous parcourons ensemble et, pour finir, j'adresse mes chaleureux remerciements à notre cher Jean-Daniel Rouiller : initiateur du CREALP, directeur durant plus de 25 ans, membre honorifique de notre Conseil de Fondation et qui est une personne très exceptionnelle.

Antonio Abellán

Directeur

Sion, le 15 juin 2022





CENTRE DE RECHERCHE SUR L'ENVIRONNEMENT ALPIN

Institution de référence pour l'application des sciences de la terre et de l'environnement dans les régions alpines depuis 1968

Fondation à but non lucratif créée par l'Etat du Valais et la Ville de Sion en 1968, le CREALP mène des mandats, expertises et des projets d'innovation dans le domaine des sciences de l'environnement. Son expertise couvre principalement les problématiques de dangers naturels (géologie et hydrologie), la gestion durable et intégrée des ressources, le développement d'outils et de plateformes web pour la gestion et la valorisation des données environnementales ainsi que l'évaluation des

impacts du changement climatique. La fondation accompagne diverses institutions publiques (cantonales, communales et fédérales) ainsi que des partenaires privés pour relever les défis environnementaux. Elle organise également des formations pour les professionnels et les étudiants en Suisse et au-delà de nos frontières (coopération au développement).

ORGANISATION

En tant que fondation à but non-lucratif, le CREALP s'appuie sur deux entités :

Un **Conseil de Fondation (CF)** qui aide à fixer les objectifs stratégiques et supervise la gestion du Centre. Il se compose notamment de représentants du Canton du Valais, de la Ville de Sion, de la Confédération et des Hautes écoles suisses.

Un **Groupe d'appui technoscientifique (GATS)** regroupant des experts de divers milieux (pratique, académique, coopération et développement, etc.) qui oriente les axes de recherche et de développement et qui formule des propositions pour renforcer les activités et les compétences du CREALP.



+ 50 ANS AU SERVICE DES GEOSCIENCES



J.-D. Rouiller
1^{er} Directeur du CREALP (1987-2015)

Éboulements
Randa 1991



Jean-Jacques Rey-Bellet
Président du CF
(1997 - 2008)

Le CRSFA est
rebaptisé CREALP

Crue dévastatrice
d'octobre 2000



Ancien logo

1968

Création du CRSFA

GEO THERMOVAL

1990

MATTEROCK

1995

2000

GUARDAVAL
PLATEFORME WEBHYDRO

20

En septembre 1968 un groupe de personnalités de la ville de Sion du Canton et de quelques scientifiques externes ont décidé de constituer une Fondation dénommée CRSFA (Centre de recherches scientifiques, fondamentales et appliquées) afin de promouvoir la recherche appliquée en géologie, hydrologie et climatologie en Valais, et de manière plus générale en régions alpines. Finalement, malgré l'enthousiasme de départ des fondateurs, la forte charge financière du projet s'est quelque peu atrophié voir étioilé assez rapidement. L'idée était certes très bonne mais arrivait beaucoup trop tôt.

C'est finalement un passionné de mines valaisannes, W. Hubacher qui a poussé le géologue cantonal fraîchement nommé à relancer la Fondation « dormante » depuis 1968. En quelques mois l'ESR

(actuellement OIKEN) mettait à disposition la « maison Rose » toujours occupée à ce jour. De son côté, le Conseiller d'Etat B. Bornet demandait à son géologue cantonal de prendre accessoirement en main, dès le 1987, la direction du CRSFA. Dix ans plus tard, l'acronyme CRSFA a été remplacé officiellement en 1998 par CREALP (Centre de recherche sur l'environnement alpin).

Depuis plus d'une vingtaine d'années, le centre est étroitement engagé auprès du Canton du Valais pour fournir un appui scientifique et technique ainsi que son expertise dans ces différents domaines d'activités. Le Centre constitue, à l'heure actuelle, une structure relais entre le monde académique, la pratique, les structures institutionnelles et d'autres organismes à but non-lucratif.



J. Melly
Président du CF
(2008 - 2016)



Nouveau logo



R. Marclay
Président du CF
(2016 -)



A. Abellán
Directeur du
CREALP (2020 -)

55^{ème} anniversaire du
CREALP

2005

2010

2015

2020

2023

MINERVE

OFEV
CHANGEMENTS
CLIMATIQUES



J. García
Directeur du
CREALP
(2015-2019)

Modification des
statuts de la fondation

Création du
GATS



F. J. Baillifard
Président du GATS
(2018 -)

Nouveau site
internet

CONSEIL DE FONDATION (CF)

Raphaël MARCLAY | Président du CF, Conseiller municipal de la Ville de Sion

Raymond BUFFET | Vice-président du CF, Représentant de la Ville de Sion

Dr François Joseph BAILLIFARD | Directeur, Norbert SA

Davide BERTOLO | Chef des activités géologiques, Région Autonome de la Vallée d'Aoste

Gregorio BONADIO | Société Suisse des ingénieurs et des architectes

Prof Reynald DELALOYE | Département des Géosciences UNIFR

Dr Jérôme DUBOIS | Directeur, HydroCosmos SA

Georges JOLIAT | Chef du Service travaux publics et environnement, Ville de Sion

Dr Olivier LATELTIN | Responsable du Service Géologique National, Swisstopo

Jean-Christophe PUTALLAZ | Ancien adjoint du chef du SDM

Jean-Daniel ROUILLER | Initiateur et ancien directeur du CREALP, membre d'honneur du CF

Florian WIDMER | Responsable d'Hydro Power Office, Alpiq SA

DIRECTION ET ADMINISTRATION

Dr Antonio ABELLÁN | Directeur, CREALP

Sabiré ILJAZI | Assistante de direction, CREALP

GROUPE D'APPUI TECHNOSCIENTIFIQUE (GATS)

Dr François Joseph BAILLIFARD | Président du GATS, Norbert SA

Tony ARBORINO | Enseignant, EPFL

Davide BERTOLO | Chef des activités géologiques, Région Autonome de la Vallée d'Aoste

Ulrich BURCHARD | Geoformer igp SA

Dr Pierre CHRISTE | Chef du groupe eaux souterraines, SEN

Olivier LUYET | Chef de l'office cantonal de la protection de la population, SSCM

Dr Raphaël MAYORAZ | Chef du Service des dangers naturels de l'Etat du Valais, SDANA

Xavier MITTAZ | Directeur adjoint, sdplus SA

Ali NEUMANN | Chargé de programme, DDC

Jean-Christophe PUTALLAZ | Ancien adjoint du chef du SDM

Frédéric ZUBER | Collaborateur scientifique, SEFH

RESPONSABLES FILIÈRES

Pascal ORNSTEIN | Monitoring environnemental

Dr Bastien ROQUIER | Dangers Naturels

Dr Romain SONNEY | Géo-Ressources

COLLABORATRICES ET COLLABORATEURS

Dre Marie ARNOUX | Collaboratrice scientifique en hydrogéologie

Dr Theo BARACCHINI | Spécialiste en hydrologie opérationnelle

Dr Tristan BRAUCHLI | Spécialiste en hydrologie de montagne

Xavier BUCHWALDER | Collaborateur scientifique en dangers et res. naturels

Marie CLAUSEN-LUYET | Collaboratrice scientifique en hydrogéologie

Dany DJEDOVIC | Analyste programmeur junior

Stéphane DONNET | Analyste programmeur junior

Dr Javier FLUIXÁ-SANMARTÍN | Spécialiste en hydrologie et hydraulique

Aurélie FOLLONIER | Spécialiste SIRS-Dangers géologiques et hydrologiques

Océane HAMES | Collaboratrice scientifique en hydrologie et res. naturelles

Gilles MARCHAND | Analyste programmeur

Ivann MILENKOVIC | Spécialiste en hydrogéologie

Pascal MORARD | Spécialiste en hydrogéologie et coordinateur sécurité

Thierry NENDAZ | Collaborateur scientifique en hydrogéologie

Éric TRAVAGLINI | Spécialiste en hydrométrie et hydrologie

COLLABORATEURS EXTERNES

Dr Mario SARTORI | Expert en cartographie et géologie

Sébastien CARRUZZO | Spécialiste en hydrogéologie

Grégoire GRICHTING | Opérateur de terrain

STAGIAIRES ET ÉTUDIANT.E.S

Coraline BAUD | Étudiante EPFL

Romane COLLIN | Étudiante EPFL

Gabriel HUNGER | Stagiaire BNF

Joëlle JELTSCH | Stagiaire et étudiante UNIL

Corinna FRANK | Stagiaire et étudiante EPFL

Lena MAILLARD | Stagiaire et étudiante UNIL





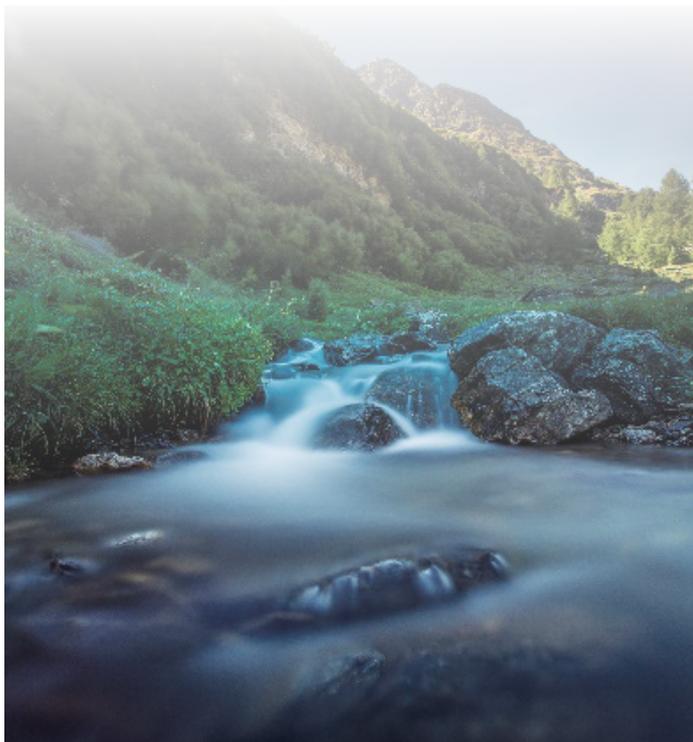
NOUVEAU SITE INTERNET DU CREALP

Le site internet du CREALP fait peau neuve !

Nous vous invitons à parcourir notre site (www.crealp.ch) pour mieux connaître nos activités et nos domaines d'expertise. Consultez les projets auxquels nous avons participé, les actualités du centre, les profils de nos collaborateurs et bien plus encore.



EAU ET CHANGEMENT CLIMATIQUE



Dans les régions alpines, le **réchauffement climatique** est deux fois plus important qu'à l'échelle mondiale. La baisse de la quantité de neige et la disparition progressive des glaciers, impactent le débit des torrents de montagne qui sera moindre pendant la deuxième moitié du siècle, surtout lors de la période estivale.

Les **ressources en eaux souterraines** seront également impactées par ces changements, alors que divers acteurs (le tourisme, l'agriculture, l'industrie, mais aussi l'approvisionnement en eau potable) dépendent de ces précieuses ressources. Il est donc important, de déterminer quelles sont les ressources exploitables et durables pour **améliorer la gestion de l'eau**.

AMÉNAGEMENTS HYDROÉLECTRIQUES

Les modifications du cycle hydrologique induites par le **changement climatique** impacteront fortement les aménagements hydroélectriques valaisans. Dans le cadre du renouvellement des concessions, les Forces Motrices Valaisannes (FMV) ont mandaté le CREALP, afin de **quantifier l'évolution des apports** dans le Haut-Valais à l'horizon 2050 et à la fin du XXIème siècle. Les simulations futures réalisées à l'aide du **logiciel RS Minerve, montrent une augmentation des débits hivernaux** (due à la diminution de la proportion de neige au profit de la pluie), une fonte plus précoce du manteau neigeux au printemps et une forte diminution des apports en eau de fonte des glaciers durant l'été. Les débits des rivières pourraient donc fortement diminuer durant la fin de l'été (d'août à fin septembre). Les changements hydrologiques sont néanmoins proportionnels à l'intensité des scénarios climatiques utilisés. Des **mesures de protection du climat efficaces** permettraient donc de **réduire les impacts sur les apports en eau** des barrages valaisans.



IDENTIFICATION DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE STRATÉGIQUES

Afin d'anticiper au mieux les effets du changement climatique sur l'alimentation en eau potable, il est nécessaire aujourd'hui d'identifier les ressources en eaux souterraines stratégiques qui sont les plus résistantes à court, moyen et long terme à la fois quantitativement et qualitativement.

Depuis juin 2021, le CREALP, en partenariat avec ALTIS et le Fond de recherche pour l'eau (FOWA SSGE), développent une méthodologie permettant un tel diagnostic. Elle intègre à la fois une analyse statistique et une modélisation numérique des **débits actuels et futurs des sources**. En parallèle, des analyses chimiques sont effectuées pour mettre en évidence les ressources qui présentent un fond géochimique élevé en éléments traces toxiques ou indésirables.

Outre une meilleure connaissance de ces systèmes, cette étude permet (1) **d'orienter les décisions** d'investissement portant sur le développement et la protection des ressources en eau, (2) **d'améliorer la gestion durable** de ces ressources et (3) d'accroître la résilience des distributeurs d'eau face aux **défis climatiques**.



MODÉLISATION

```

    forecast_id, paste0(' ', task_name, ' ') Task starts'))
    forecast_id, input_dataset, TRUE, TRUE)
    forecast_id, paste0(' ', task_name, ' ') Load dataset ', input_dataset, ' and set
    forecast_id, forecast_ds
    forecast_id, iso_8601(clrCall(rsm, 'GetStartDateFromModelAsString'))
    forecast_id, start_date_meteo_forecast, datehour_now_UTC)
    forecast_id, paste0(' ', task_name, ' ') Start date meteo forecast: ', start_date_meteo_forecast, '
    forecast_id, iso_8601(clrCall(rsm, 'GetEndDateFromModelAsString'))
    forecast_id, paste0(' ', task_name, ' ') End date meteo forecast: ', end_date_meteo_forecast, '
    forecast_id, start_date_meteo_forecast, ' - ', end_date_meteo_forecast)
    forecast_id, paste0(' ', task_name, ' ') Finalized')
    forecast_id, forced_IC_file)) {
    forecast_id, paste0(' ', task_name, ' ') Trying to load dataset ', forced_IC_file)
    forecast_id, iso_8601(clrCall(rsm, 'GetICdateFromICfileAsString', forced_IC_file))
    forecast_id, paste0(' ', task_name, ' ') IC file date: ', IC_file_date))
    forecast_id, period of the weather forecast dataset
    forecast_id, t <- IC_file_date & IC_file_date < end_date_meteo_forecast) {
    forecast_id, h the date from IC file
    forecast_id, te', as.character(IC_file_date))
    forecast_id, paste0(' ', task_name, ' ') Set start date from ', forced_IC_file_date, ' - ', end_date_meteo_forecast)
    forecast_id, from the file
    forecast_id, conditionsFromFileAndMoveFile', forced_IC_file, output_dir, TRUE)
    forecast_id, paste0(' ', task_name, ' ') IC taken from ', forced_IC_file)
    forecast_id, paste0(' ', task_name, ' ') Simulation period is: ', new_per
    forecast_id, force=TRUE)
    forecast_id, tion_control, paste0('Removing file ', forced_IC_file))

```

La finalité des **modèles numériques**, est de formaliser les grands principes qui régissent le comportement d'un système et de les traduire par des équations mathématiques.

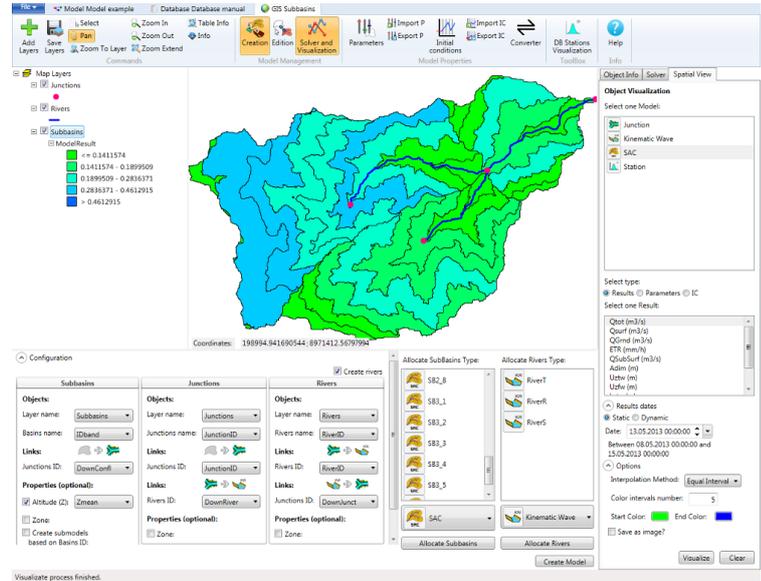
Dans les domaines de la gestion des ressources et des risques naturels, les modèles numériques sont des outils couramment utilisés pour **expliquer et prévoir les processus naturels**.

Le CREALP développe et emploie une gamme variée d'outils de simulation dans les domaines de la climatologie, de l'hydrologie, de la géologie et de l'hydrogéologie. Les modèles développés permettent **d'organiser, d'exploiter et de valoriser** les données collectées, ainsi que de **prédire** l'évolution temporelle des systèmes étudiés.

LOGICIELS DE SIMULATION NUMÉRIQUE

La **modélisation numérique** est un outil essentiel pour l'évaluation des dangers hydrologiques. En se basant sur l'historique de données météorologiques et hydrologiques, le CREALP utilise des modèles numériques pour l'analyse des bassins-versants, la prévision des crues et la cartographie des dangers d'inondation.

Depuis 2012, le CREALP poursuit le développement et assure la maintenance du **logiciel de simulation RS MINERVE** dédié à la modélisation des transformations pluie-débit et des écoulements à surface libre. Le logiciel est capable de représenter non seulement les principaux processus hydrologiques tels que la fonte de neige, la fonte glaciaire et les écoulements de surface et de subsurface, mais également les ouvrages régulés tels que les retenues, les vannes, les évacuateurs de crue, les prises d'eau, les turbines ou les pompes et les autres ouvrages hydrauliques. Le logiciel est disponible gratuitement sur le site internet du CREALP (www.crealp.ch/rs-minerve)



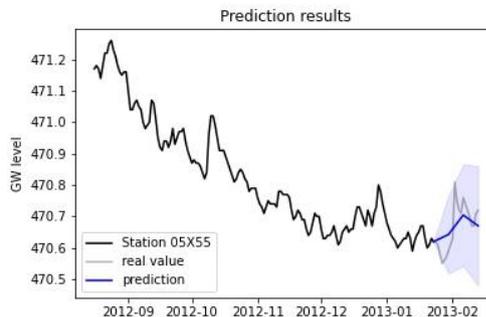
Subdivision des bassins versants par bandes d'altitude en vue de l'élaboration d'un modèle hydrologique RS MINERVE

MACHINE LEARNING

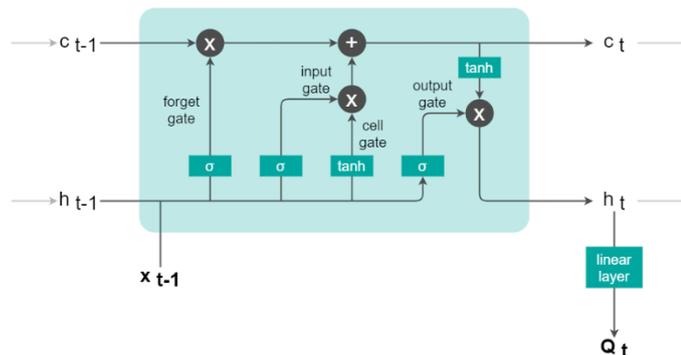
En partenariat avec le Laboratoire de science computationnelle pour l'environnement et l'observation de la Terre de l'EPFL à Sion (Prof. Devis Tuia), le CREALP a proposé plusieurs travaux de recherche à des étudiants pour le développement de modèles de *machine learning* pour la **prévision des niveaux de la nappe et des débits des cours d'eau**.

Un premier projet réalisé par Romane Collin et Corinna Frank sous la forme d'un "*design project*" a débouché sur l'implémentation d'un modèle *Random Forest* (forêt aléatoire) pour la **prévision à 7 jours des niveaux de la nappe phréatique**.

Une thèse de master a également été réalisée par Corinna Frank dans le domaine de la prévision des crues. Un modèle LSTM (*Long Short-Term Memory*) a été développé pour plusieurs bassins-versants de la région de Conches en Valais avec des résultats prometteurs, égalant les prévisions basées sur le modèle du système MINERVE pendant les périodes de faible risque. L'intégration d'un plus grand nombre de données "extrêmes" sera nécessaire pour améliorer la performance du modèle pendant les crues.



Prévision des niveaux de la nappe par Machine learning



Architecture du modèle LSTM pour la prévision des débits

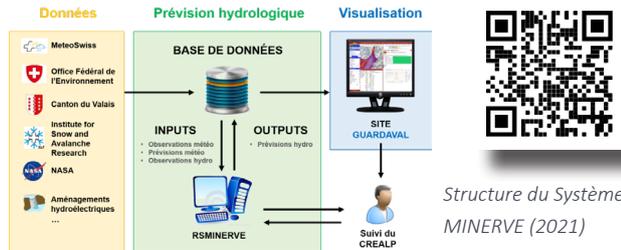
SYSTÈMES OPÉRATIONNELS DE PRÉVISION DES CRUES

Le CREALP participe à la mise en place de systèmes d'alerte précoce pour la prévision des crues.

- **2011 – en cours**, Rhône–Valais (système MINERVE)
- **2012**, Yangtzé – Chine
- **2012 – 2015**, Chucchún - Pérou
- **2019 – 2020**, Coca - Equateur

Ces systèmes de prévision font partie intégrante des procédures de gestion des risques hydrologiques. Pour le Canton du Valais, le CREALP assure la maintenance et l'amélioration continue du système de prévision MINERVE. En 2021, de nouvelles prévisions probabilistes et des analyses de performance des modèles ont notamment été réalisées.

Les prévisions MINERVE sont mises à disposition via la plateforme cantonale de surveillance des dangers naturels (www.crealp.ch/systeme-de-surveillance-guardaval).

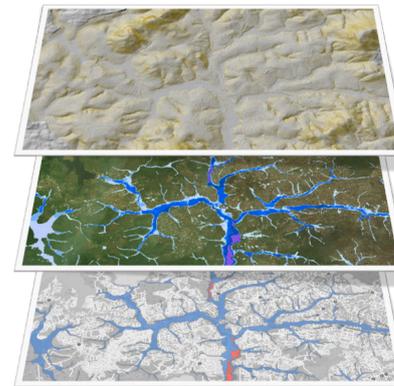


Structure du Système MINERVE (2021)

CARTOGRAPHIE DES DANGERS

Le CREALP participe ponctuellement à la réalisation de cartes de danger d'inondation. Dernier exemple en date, la réalisation des cartes d'inondation de Yaoundé, Douala et Ngaoundéré au Cameroun réalisées entre 2019 et 2021.

Dans le cadre de ce projet, en plus des simulations hydrologiques et hydrauliques, le CREALP a organisé des formations sur la modélisation et la gouvernance des risques pour les partenaires locaux.



Elaboration des cartes de dangers de Yaoundé (2021)

MONITORING ENVIRONNEMENTAL



*Dans les territoires à enjeux, le monitoring environnemental vise à adresser différents buts : la **gestion des ressources**, la **réduction des impacts**, la **maîtrise des risques**. Pour répondre à ces objectifs, le CREALP développe une activité pluridisciplinaire couvrant un large champ d'application et s'appuyant sur des disciplines complémentaires telles que : l'hydrologie, l'hydrogéologie, la modélisation, les outils de simulation et d'aide à la décision, analyse de données et méthodes géostatistiques, (géo-)informatique.*

*Les activités déployées couvrent la mise en œuvre de **réseaux de monitoring** (systèmes de mesures, gestion des données, etc.), le développement de nouveaux outils informatiques pour la diffusion et l'exploitation des données d'observation permettant de vérifier et suivre l'**état des ressources à l'échelle d'un territoire** et au droit de sites à enjeux, l'analyse de risque via l'élaboration d'outils d'aide à la décision et le pilotage des actions nécessaires à la gestion du risque et des ressources à différentes échelles (cartes, indicateurs, etc.).*

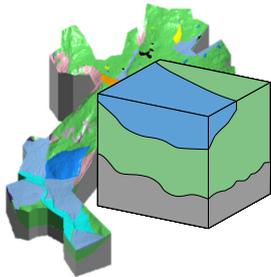
GESTION DU SOUS-SOL - PROJET A-BIM CITY

Le sous-sol devient une nouvelle source d'enjeux, en terme d'exploitation des **géoressources** (eau, énergie, matières premières minérales) ou de l'utilisation de l'espace souterrain (constructions, transport, stockage).

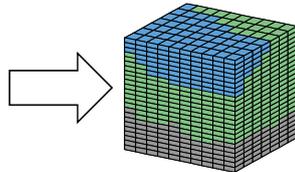
Avec la densification du territoire, la caractérisation du milieu souterrain est amenée à revêtir un intérêt stratégique dans les prochaines décennies. Les développements technologiques actuellement menés au CREALP dans ce domaine visent à l'élaboration d'outils destinés

à exploiter et valoriser l'information du sous-sol en mettant à profit ses compétences en matière de **modélisation géologique 3D** (projet Deep City Verbier), de gestion de données (technologie Data Cube) et de géoinformatique (portails web). **La plateforme A-BIM City**, développée pour le compte de la commune de Val de Bagnes, offre un premier démonstrateur de ce nouveau savoir-faire.

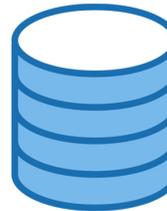
Modèle géologique 3D



Discrétisation du modèle en voxels



Intégration à la BD spatiales 3D

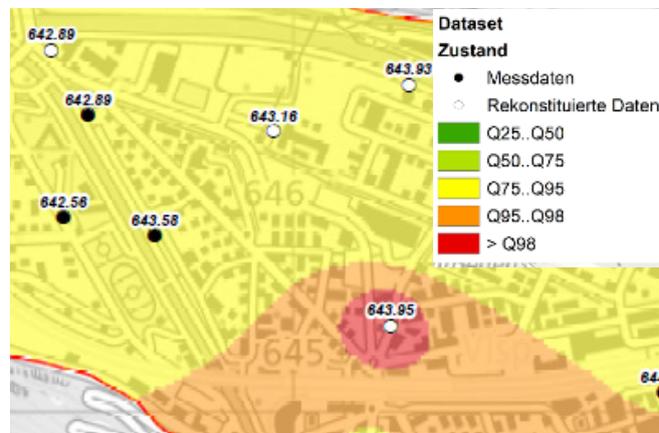
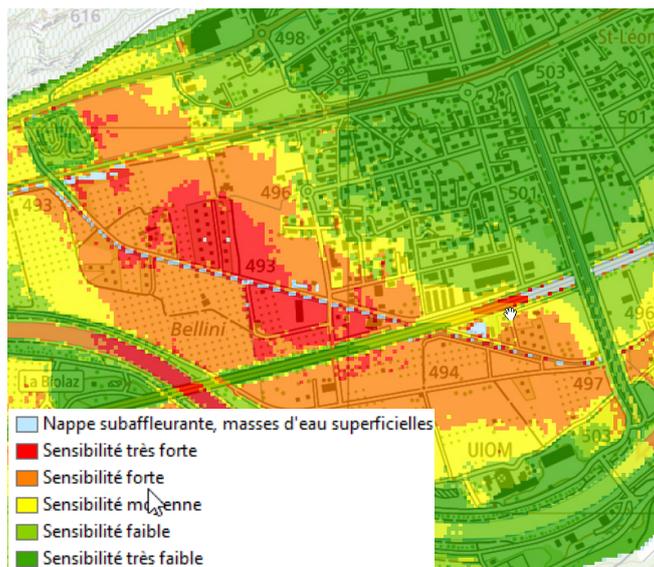


Plateforme A-BIM City



REMONTÉES DE NAPPE

Dans certaines conditions hydrométéorologiques particulières, une élévation exceptionnelle du niveau de la nappe phréatique peut générer des **inondations** très localisées par le phénomène dit de «remontées de nappe». La carte de sensibilité aux remontées de nappe établie par le CREALP pour la région Sierre-Léman a pour objectif la **délimitation de l'emprise des zones potentiellement sensibles** à ce risque. Cette étude a été réalisée en collaboration avec le SEN, le SCA et l'ancien SPCR.

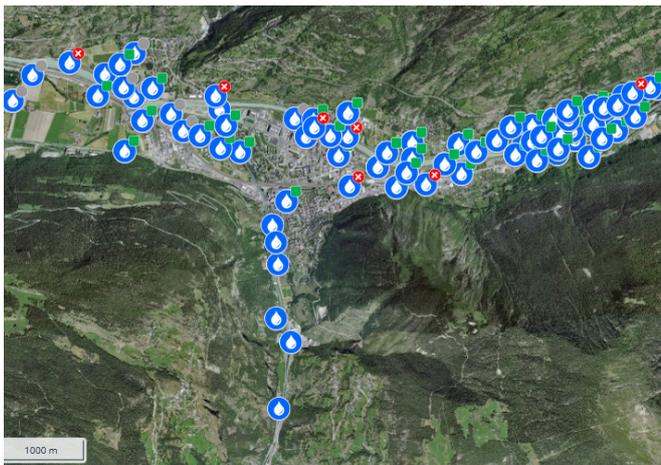


DANGER EAUX SOUTERRAINES

Différents évènements récents et passés (hautes-eaux 2019, intempéries 2018, crue octobre 2000, hautes-eaux 1995 et 1994) survenus en différentes régions de la plaine du Rhône, ont fait apparaître la nécessité de considérer de manière tangible la **problématique Danger Eaux Souterraines (DES)**. Les activités développées par le CREALP dans ce domaine couvrent aussi bien les moyens opérationnels (monitoring en temps réel, veille hydrogéologique) que les outils (aide à la décision, cartographie, systèmes d'information, etc.) qui doivent permettre à l'avenir **d'anticiper et/ou de gérer les situations à risques** directement liées au phénomène de variation du niveau de la nappe (inondations, lessivage de sites pollués, tassements différentiels, etc.).

SURVEILLANCE EAUX SOUTERRAINES - QUANTITÉ

La surveillance quantitative des eaux souterraines (nappe, sources) est réalisée quotidiennement par un **réseau de plus de 300 stations de mesures automatisées**. Le CREALP assure le contrôle périodique et la maintenance de ce réseau ainsi que la collecte, le traitement et la bancarisation des données d'observation. Cette surveillance contribue à une **meilleure connaissance et compréhension du fonctionnement des eaux souterraines**. Elle fournit des données de base indispensables aux projets d'aménagement du territoire actuels et futurs et favorise le développement de nouveaux outils pour une gestion raisonnée et raisonnable de la ressource.



SURVEILLANCE EAUX SOUTERRAINES - QUALITÉ

«L'eau n'est pas un bien marchand comme les autres, mais un patrimoine qu'il faut protéger, défendre et traiter comme tel» (DCE, 23.10.2000). Dans les territoires soumis à de **forts enjeux en matière d'usages et/ou d'aménagement**, les eaux souterraines peuvent être mises localement sous pression. Le maintien de la qualité de cette ressource passe par une nécessaire surveillance dont les objectifs sont, selon le contexte :

- De définir un état initial
- De vérifier l'absence d'impact
- D'identifier un éventuel impact et de suivre son évolution
- De proposer des mesures de gestion adaptées et d'évaluer leur efficacité dans l'espace et dans le temps

Le CREALP appuie le Canton dans cette démarche au travers d'une série d'actions qui vont de l'échantillonnage sur site jusqu'au traitement et à l'archivage des données (actuelles et passées) ainsi qu'au développement d'outils d'exploitation (API, aide à la décision). Combinées aux informations issues de la **surveillance quantitative** (niveaux d'eau, cartes piézométriques), ces observations permettent une **meilleure une meilleure protection des eaux souterraines** appliqués à la protection des eaux.

ÉNERGIES RENOUVELABLES

*Le Canton du Valais ambitionne à moyen terme (2035) une réduction de la consommation d'énergie par habitant de 43% par rapport à 2000, et à long terme (2060) un approvisionnement énergétique **100% renouvelable et indigène**.*

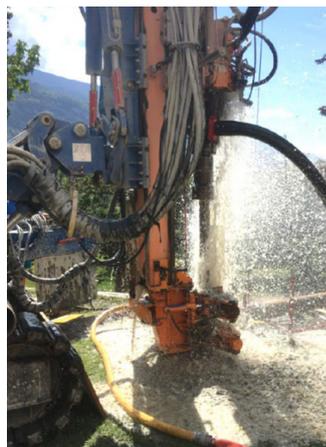
La forte dépendance vis-à-vis des ressources énergétiques fossiles et non-renouvelables, les émissions de CO2 élevées et le réchauffement climatique nécessitent un renforcement d'actions ciblées de valorisation des ressources renouvelables existantes sur le territoire valaisan.

*Les **eaux souterraines** présentes dans la plaine du Rhône, à faible profondeur (nappe phréatique), à la base du remplissage quaternaire (dépôts torrentiels sous-glaciaires) et dans les aquifères profonds sont des ressources disponibles en grande quantité pour la production de chaleur et/ou de froid.*

GÉOTHERMIE DE FAIBLE PROFONDEUR

Les eaux souterraines constituent une **ressource énergétique** importante. Leur exploitation permet de produire de la chaleur et du froid tout au long de l'année. La nappe phréatique de la plaine du Rhône fait souvent l'objet d'une attention particulière de la part de projeteurs, du fait du potentiel d'exploitation élevé de cette ressource et de sa proximité avec la surface.

En partenariat avec OIKEN, la Ville de Sion et le Service de l'Environnement du Canton du Valais (SEN), le CREALP a réalisé une étude visant à établir un **bilan de l'exploitation thermique** de la nappe phréatique à Sion et propose un **réseau de suivi** à long terme des températures des eaux souterraines, qui s'appuie notamment



sur les principaux puits de production des plus grandes installations. Les risques d'interférences hydrauliques et thermiques entre installations engendrent un besoin de mieux connaître la ressource et d'améliorer sa gestion par des actions collectives plutôt qu'individuelles.

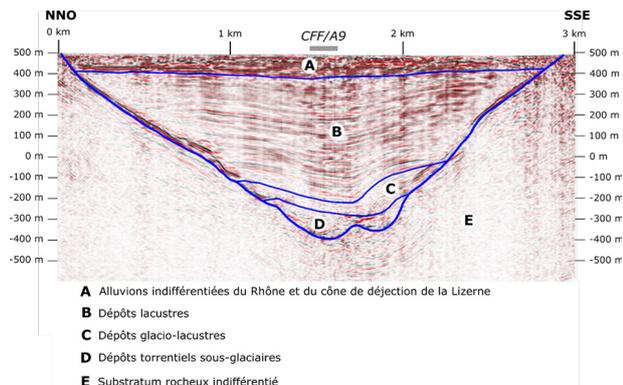
Exécution d'un puits de pompage pour une PAC eau-eau à Bramois (RS, 3 septembre 2018)

GÉOTHERMIE DE MOYENNE PROFONDEUR

La région de Vétroz-Ardon dans la plaine du Rhône en Valais a un **potentiel géothermique intéressant**. Des investigations géophysiques ont été pilotées par le CREALP en partenariat avec OIKEN pour mieux caractériser la géométrie du remplissage quaternaire. Les résultats obtenus et le retraitement d'anciennes lignes de sismique réflexion indiquent que les **dépôts torrentiels sous-glaciaires** et le rocher fracturé sous-jacent, considérés comme potentiellement aquifères

auraient une épaisseur totale de 200 à 350 m (entre 800-1'150 m de profondeur) avec de possibles circulations hydrothermales (35-45°C) alimentées par le réseau du système de failles Rhône-Simplon. D'autres cibles plus chaudes (>70°C) et plus profondes (2'000-2'500 m) sont également possibles dans les **calcaires des nappes helvétiques** qui s'énnoient sous l'auge glaciaire. Ces ressources restent néanmoins théoriques et doivent être vérifiées par un **forage de**

reconnaissance. Le potentiel géothermique de ce secteur semble toutefois prometteur pour de futurs projets de moyenne et grande profondeur en milieux poreux et/ou fracturés, dans un contexte régional densément peuplé (nombreux utilisateurs potentiels).



Interprétation géologique du profil P4 à travers la vallée du Rhône à Vétroz. L'axe vertical est exagéré d'environ 1.5 fois (source Sonney et al. 2022, paru le 26 avril 2022).



Camion vibreur de type EnviroVibe II (RS, 25 mai 2021)



GESTION INTÉGRÉE DES RESSOURCES EN EAU

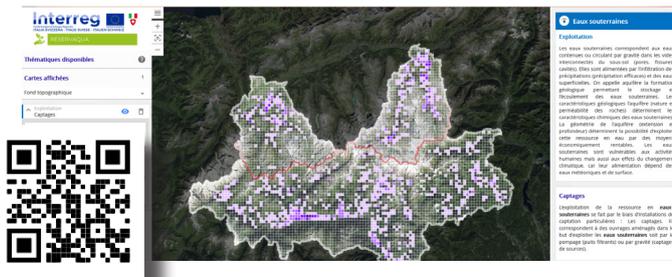
*Le CREALP offre des services et des conseils pour la définition de **projets multi-usages** orientés vers une **gestion intégrée et efficace des ressources en eau** dans un contexte de changement climatique, et propose des stratégies pour leur mise en œuvre.*

GESTION INTÉGRÉE DES EAUX SOUTERRAINES

Le CREALP participe à des projets ayant comme objectif de développer des outils pour une gestion stratégique des ressources en eau souterraine afin d'assurer la sécurité actuelle et future de l'alimentation en eau potable, tant d'un point de vue quantitatif que qualitatif.

Parmi les projets en cours, **RESERVAQUA** est un projet Interreg qui fournit une analyse des ressources en eau disponibles sur le territoire transfrontalier entre le Canton du Valais et les régions de la Vallée d'Aoste et du Piémont. Il a permis l'élaboration de jeux de données thématiques ainsi que la mise en place d'un système d'information transfrontalier.

Face au défi de la **gestion transfrontalière des ressources en eau**, soumises à des pressions constamment croissantes, il importe de développer les instruments de planification adéquats pour la prise de décision et la **mise en place de mesures d'adaptation durables et efficaces**.



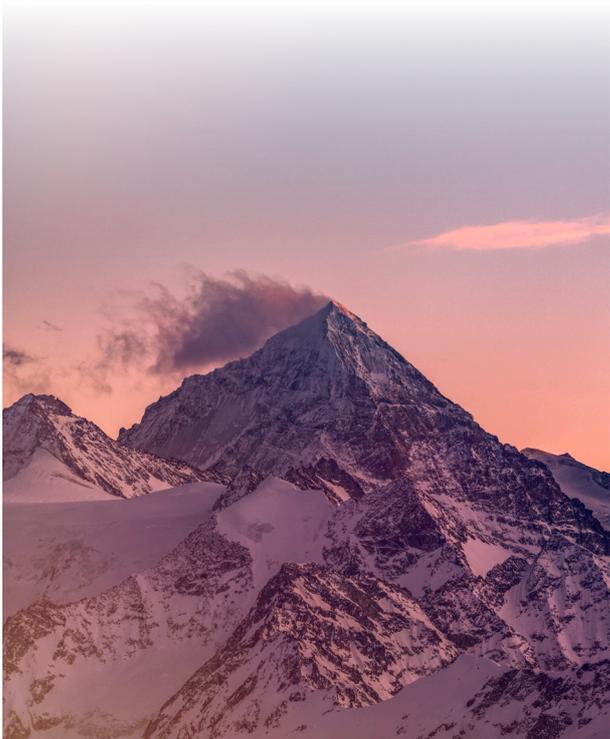
STRATÉGIE D'ADAPTATION POUR LA GESTION INTÉGRÉE DE L'EAU

Pour faire face au changement climatique, le Canton du Valais s'est doté en 2014 d'une **Stratégie Eau**, qui vise une gestion durable de la ressource en eau à travers un catalogue de mesures prioritaires. C'est dans cette logique que le CREALP a élaboré le **projet SAGE**, qui ambitionne de développer et de mettre à disposition de nouveaux outils d'aide à la gestion de l'eau, permettant de faciliter l'**adaptation aux changements climatiques**.

Pour adresser un des besoins prioritaires de la Stratégie Eau, le CREALP s'est vu confié par le Canton, l'analyse, la conception et l'implémentation d'une **Plateforme Eau**. Ce site internet (www.vs.ch/web/plateforme-eau), intégré à la plateforme cantonale, recense les informations liées à l'eau et son utilisation selon différents thèmes (eau potable, qualité des eaux, dangers naturels, agriculture-industrie-tourisme, énergie renouvelable, etc.). Pour chaque thème, **des données et des indicateurs**, des bases légales, des études, des publications ou encore des liens utiles, sont mis à disposition.

Le projet SAGE s'est également intéressé à la **gestion intégrée de l'eau au niveau des bassins-versants**. En collaboration avec la HES-SO Valais-Wallis et la société Altis, une vue d'ensemble des ressources en eau et des usages a été réalisée pour une partie de la commune de Val de Bagnes.

INNOVATION



*Le CREALP a pour but de proposer des approches **innovantes et interdisciplinaires** dans le cadre de ses activités.*

À travers les projets d'innovation, de recherche appliquée et les mandats de prestations réalisés ces dernières années, le CREALP œuvre à une meilleure compréhension et gestion des risques et ressources naturels en Suisse et à l'étranger.

*La poursuite de l'innovation dans nos flux d'activité, passe par la recherche constante de perfectionnement de l'existant. Ce qui permet au CREALP d'élaborer des **solutions** à des problèmes complexes d'ordre technique et de proposer des produits / services plus adaptés aux besoins actuels de nos partenaires. Par exemple, l'utilisation des nouvelles technologies (drones, Machine Learning, Open Data Cube...) permet au CREALP de proposer des produits de pointe, qui visent à gérer les problématiques liées aux ressources et aux dangers naturels.*

DRONES ET PHOTOGRAMMÉTRIE

De nombreux projets du CREALP se déroulent dans des zones accidentées, difficiles d'accès, couvrant une surface au sol trop grande pour être appréhendées à pied. Afin de remédier à ce problème récurrent lors de travaux en montagne, un drone quadricoptère est utilisé afin de recueillir des informations supplémentaires sur des zones précises.

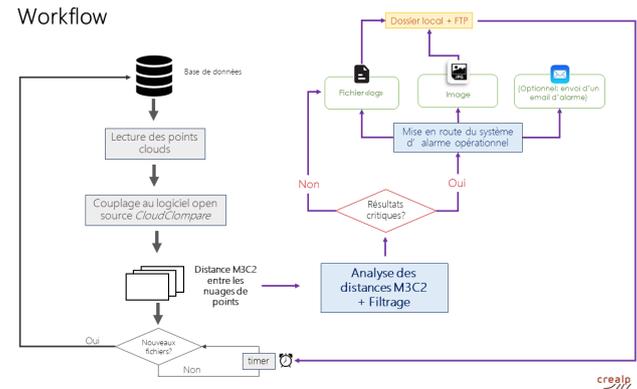
Équipé d'une caméra RGB classique et d'une caméra thermique, le drone permet de reconstituer des images 3D en haute définition. Les données sont calées sur un réseau de points de contrôle au sol localisés précisément grâce à une canne GPS. L'information récoltée peut par exemple servir pour l'analyse des volumes de crue ou pour extraire des informations telles que la température du sol. En couplant ces informations brutes aux connaissances des scientifiques travaillant au CREALP, il est par exemple possible d'identifier des affleurements d'un glacier rocheux ou des remontées de nappe phréatique.

L'utilisation de la photogrammétrie par le CREALP est encore au stade exploratoire, mais notre fondation a proposé un projet d'innovation technologique à l'OFEV, il s'agit d'une méthode de monitoring permettant de surmonter les frontières physiques du terrain naturel en haute montagne.

SURVEILLANCE DE TERRAINS INSTABLES

Le CREALP a développé un programme informatique d'alerte automatisé pour la surveillance de falaises avec des méthodes 3D. Le nouveau logiciel permet de surveiller les déformations surfaciques en temps réel à partir de mesures scanners successives et d'envoyer des messages d'alerte si nécessaire. Le «workflow» général du système est décrit avec l'appui d'un schéma explicatif ci-dessous.

L'outil informatique a été créé dans le cadre d'un projet Innosuisse (chèque d'innovation), pour assister la start-up 3sigmas dans son activité de surveillance de falaises (et de barrages) par lasergrammétrie.



ÉVÉNEMENTS

Les initiatives de communication demeurent un axe fondamental pour stimuler la visibilité du CREALP et pour la dissémination de son savoir-faire.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE CREALP

Le 10 juin 2021, l'Assemblée générale du **Conseil de Fondation du CREALP** réunissait ses membres pour l'approbation des comptes de l'année écoulée et la présentation des projets en cours de réalisation au CREALP, ainsi que pour discuter sur les axes de travail principaux.

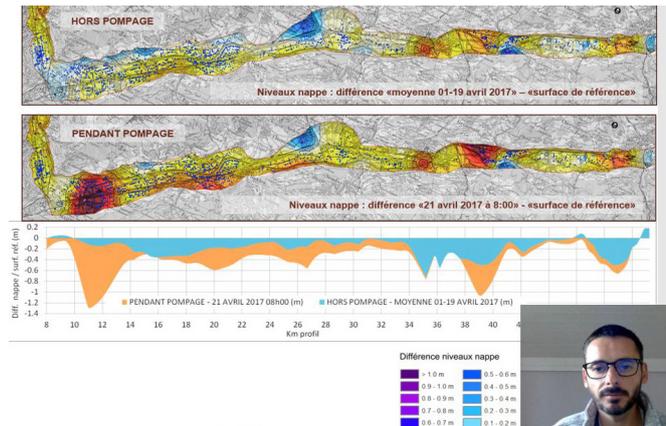
Les membres du GATS ainsi que les **collaborateurs du CREALP**, ont assisté à la présentation des nouveaux collaborateurs et des activités qu'ils ont menées. **Marie Arnoux** a détaillé les travaux qu'elle a développés sur la dynamique des eaux souterraines dans les bassins-versants alpins, dans le cadre du projet HydroCH2018 de l'OFEV. De son côté, **Theo Baracchini** nous a montré l'importance des outils de monitoring et de prévision opérationnelle, ainsi que les derniers développements du système MINERVE.



CONFÉRENCE SWISS GEOSCIENCE MEETING

Le CREALP a participé à la 19^{ème} édition du Swiss Geoscience Meeting, qui s'est déroulé les 19 et 20 novembre en ligne.

Romain Sonney a donné une présentation sur la valorisation de plus de 40 ans de mesures en continu des niveaux de la nappe phréatique du Rhône entre le lac Léman et Brig. Cette valorisation, effectuée dans le cadre du mandat de surveillance opérationnelle des eaux souterraines du Canton du Valais, a été cofinancée par plusieurs services du canton, a permis la réalisation de nouvelles cartes piézométriques de référence des niveaux de la nappe pour la période 1976-2017, la production au fil de l'eau de cartes mensuelles dès 2018, et l'élaboration de produits à valeur ajoutée orientés aide à la décision et analyse de risque. Plus d'informations sur www.crealp.ch/nappe-phreatique-de-la-plaine-du-rhone



De leur côté, **Corinna Frank** et **Romane Collin**, ont présenté un nouveau modèle machine learning pour prédire le niveau de la nappe phréatique dans la plaine du Rhône et qui sera intégré dans la stratégie du Canton du Valais pour anticiper les dangers liés à la remontée de nappe.

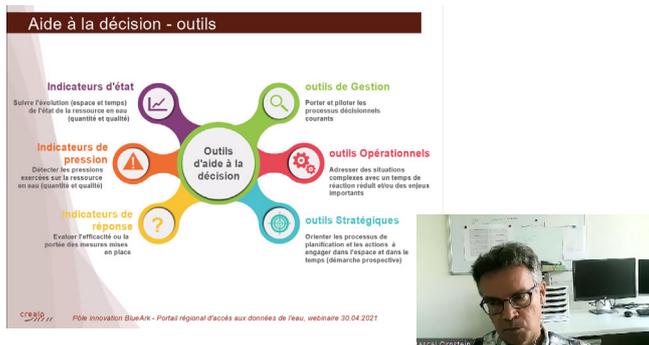
Les modèles ont été développés en collaboration avec le Prof. Davis Tuia (EPFL) dans le cadre d'un *design project*. Cette dynamique d'exploration de nouvelles solutions au travers de collaborations académiques, devient de plus en plus intéressante pour une partie de nos futurs projets.

EPFL
crealp
Centre de recherche sur l'environnement alpin
Research Center on Alpine Environment

Development of a Forecasting Tool for Groundwater Levels in Valais Using Artificial Intelligence

Romane Collin, Corinna Frank
Design Project in cooperation with
CREALP, Research Center on Alpine Environment
November 20th, 2021

ATELIER EAU ET INNOVATION



Le CREALP a participé à l'atelier online Eau et Innovation organisé par le BlueArk Entremont le 30 avril, qui faisait suite au défi déposé lors du BlueArk Challenge par les FMV. Une dizaine d'intervenants ont échangé sur les opportunités de mettre en place une plateforme de données en lien avec l'eau, notamment dans la région d'Entremont.

Pascal Ornstein a abordé la problématique des outils d'aide à la décision en lien avec les eaux souterraines qui ont été mis en place par le CREALP. Il s'agit d'outils destinés à faciliter et/ou à améliorer la prise de décision en se basant sur les informations disponibles.

Le CREALP développe et exploite depuis des années ce type d'instruments comme par exemple les portails Groundwater Monitoring ou qualES Monitor dans le cadre de la gestion des eaux souterraines.

CONFÉRENCE MONTAGNE ET SOCIÉTÉ

Le CREALP a participé le 5 octobre à Genève à une conférence organisée par SMARt et CIRM, dans le cadre du cycle de conférences Montagne et société.

La conférence, appelée *Dangers naturels en montagne : regards croisés Suisse – Pérou*, cherchait à créer des ponts entre culture et science sur la gestion des dangers naturels en Suisse et au Pérou.

Notre spécialiste **Javier Fluixá-Sanmartín** a présenté les activités menées dans le cadre du projet *Glacières à la Laguna 513* (Pérou). Il a abordé la question des impacts de la fonte des glaciers et du permafrost sur la sécurité des populations et la gestion de ces dangers dans les régions de montagne.



FORMATION SUR LA GESTION DES RISQUES

Módulo de Riesgos
hidrológicos

Introducción



crealp
Centre de recherche sur l'Environnement alpin
Institut de géographie et d'écologie
Institut de gestion de l'eau et de l'environnement

Universidad Politécnica de
Madrid



CEPRENAC
Centre de coordination pour la
prévention des catastrophes en Amérique
centrale et en République dominicaine

SICA
Système
de l'Amérique
centrale

Le CREALP a dispensé une formation sur les risques hydrologiques sous mandat de la CSUCA (Conseil universitaire supérieur d'Amérique centrale) et CEPREDENAC (Centre de coordination pour la prévention des catastrophes en Amérique centrale et en République dominicaine). Ce cours a été financé par la DDC suisse.

L'objectif de ce cours était d'améliorer les connaissances des professionnels de la région d'Amérique Centrale sur la **gestion des risques de catastrophes et l'adaptation au changement climatique**.

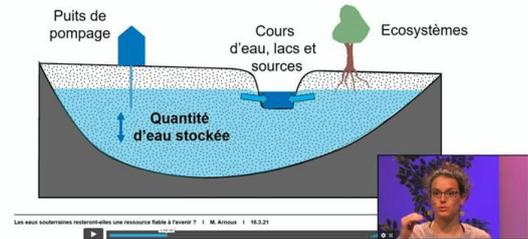
Le cours, dispensé à distance par **Javier Fluxá-Sanmartin** pendant 8 semaines, a été conçu selon une approche théorique et pratique, dans laquelle les connaissances transmises ont été évaluées au moyen d'examens à travers une plateforme online.

Au total, 150 personnes provenant du Guatemala, Panama, Nicaragua, Costa Rica et Honduras ont suivi le cours.

Eaux suisses et changements climatiques



Eaux souterraines et changement climatique



Notre spécialiste **Marie Arnoux** a participé à l'événement **Eaux suisses** et changements climatiques le 16 mars 2021. Cette conférence portait sur les effets du changement climatique sur les eaux suisses, lesquels modifient l'ensemble du régime des eaux, mais plus particulièrement la répartition saisonnière des ressources en eau à la fois de surface et souterraines. **Marie Arnoux** a présenté les résultats des études sur l'impact du changement climatique sur les eaux souterraines.

Lien vidéo de l'évènement :

www.live.eventforumbn.ch/fr/hydro-ch2018



COLLOQUE SUR LES 75 ANS DU TREMBLEMENT DE TERRE DE SIERRE

Lancées à l'initiative du CIRM-Unil, avec la participation de plusieurs centres de recherche (dont le CREALP), des services cantonaux et d'associations scientifiques, une série de manifestations a pour but de rappeler durant l'année 2021 les événements de l'époque.

Le 25 janvier 2021, un colloque en ligne a lieu afin de faire le point du savoir scientifique actuel sur le risque sismique en Suisse et ainsi de maintenir la mémoire du risque auprès de la population.

Antonio Abellan a modéré la session sur la surveillance et l'organisation.

Le CREALP a ainsi collaboré avec le Centre Pédagogique Prévention Séismes (CPPS) pour la création des postes éducatifs et ludiques dans le centre historique de Sion permettant aux visiteurs d'en savoir plus sur les séismes, en comprenant ce qui s'est passé durant le 25 janvier 1946. Plus d'informations sur : www.cpps.ch/fr-fr/Jeu-de-piste-interactif

Colloque en ligne — 25 janvier 2021

Colloque bilingue, sans traduction simultanée, projections bilingues.

14h00-14h15 OUVERTURE DU COLLOQUE

- Frédéric FAVRE, Conseiller d'État, Canton du Valais
- François BUSSY, Vice-recteur de l'Université de Lausanne
- Emmanuel REYNARD, Directeur du Centre interdisciplinaire de recherche sur la montagne (CIRM), Université de Lausanne

14h15-15h15 LES PROCESSUS

Modération: François PACCHIANI, Section Dangers naturels, État du Valais

- György HETÉNYI (Université de Lausanne): Le cycle sismique: connaissances et incertitudes
- Donat FÄH (Service Sismologique Suisse, ETH Zürich): Le séisme du 25 janvier 1946 en Valais: chronologie et documentation des événements (en allemand)
- Mario SARTORI (Université de Genève): Structures tectoniques responsables de la sismicité en Valais: connaissances et incertitudes

15h15-15h45 PAUSE

15h45-17h15 SURVEILLANCE ET ORGANISATION

Modération: Antonio ABELLAN, Centre de recherche sur l'environnement alpin CREALP

- Donat FÄH (Service Sismologique Suisse, ETH Zürich): Surveillance sismique actuelle en Valais (en allemand)
- Blaise DUVERNAY (Office fédéral de l'environnement): La construction parasismique en Valais et en Suisse
- Olivier LUYET (Office cantonal de la protection de la population, Canton du Valais): Organisation cantonale pour la prévention et l'intervention en cas de tremblement de terre
- Anne SAURON (Centre Pédagogique Prévention Séismes CPPS, HES-SO Valais-Wallis, et Département des Sciences de la Terre, ETH Zürich): Sensibilisation de la population au risque sismique par l'éducation

REPRISE DES ACTIVITÉS DE LA FONDATION CAP SANTÉ PAR LE CREALP

Après 20 ans d'activité comme centre d'information et de formation dans les domaines de la santé, de l'eau, de la qualité de vie et du développement durable, la fondation Cap Santé a été dissoute en 2021.

La fondation a réalisé depuis 2000, des cours, du matériel pédagogique, des spectacles, des expositions ainsi qu'une plateforme d'information (www.res-eau.ch) en lien avec l'eau et la santé, sous l'impulsion de son directeur scientifique, le Dr Gilbert Fournier et avec l'appui de **Pascal Morard**, collaborateur au CREALP.

Le CREALP poursuivra les activités en lien avec les ressources en eau en Valais, notamment dans la recherche et la vulgarisation scientifique, la création et la diffusion d'expositions, la participation à des événements, etc. Le CREALP avait déjà repris depuis 2019 certaines des activités de la fondation Cap Santé, telles que la diffusion des expositions « Notre eau » et « Histoires d'eau » ainsi que la gestion du site web RES-EAU. Il a en outre participé au volet didactique de la journée de l'eau de la ville de Sion.



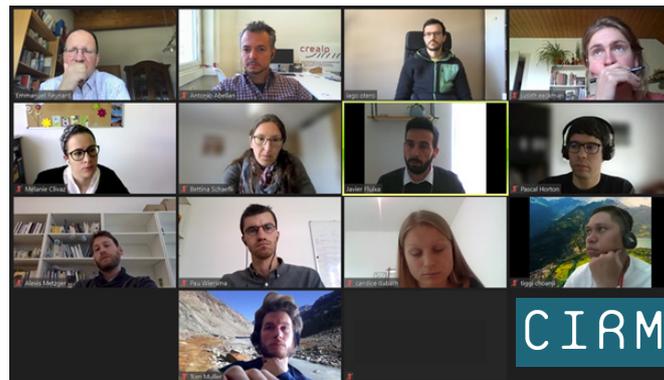
SÉMINAIRE REGARDS SUR LA MONTAGNE

Dans le cadre du cycle de séminaires *Regards sur la Montagne* organisé par le CIRM, le CREALP a présenté l'application de ses outils de modélisation hydrologique pour les prévisions des crues en Valais.

La présentation, intitulée *L'importance des outils de prévisions hydrologiques : le cas du système MINERVE en Valais*, a parcouru le développement du système MINERVE, depuis sa conception jusqu'aux derniers déploiements mis en place.

Le but de ce cycle de séminaires est de favoriser le dialogue interdisciplinaire entre chercheurs de disciplines variées.

Puis d'informations sur www.unil.ch/centre-montagne/fr



LE CREALP DANS LES MÉDIAS

Notre spécialiste en hydrogéologie **Ivann Milenkovic**, a participé à l'émission **On va vers le beau** de la RTS pour évoquer les ressources du sous-sol en milieu urbain et en particulier le projet Deep City Verbier/Curala. Le CREALP est l'un des quatre partenaires impliqués dans la mise en œuvre de ce projet réalisé pour le compte de la commune de Val de Bagnes.

L'émission **Montagne en transition (4/5) – Des ressources dans le sous-sol de nos villes ?** est à écouter sur le site de la RTS.

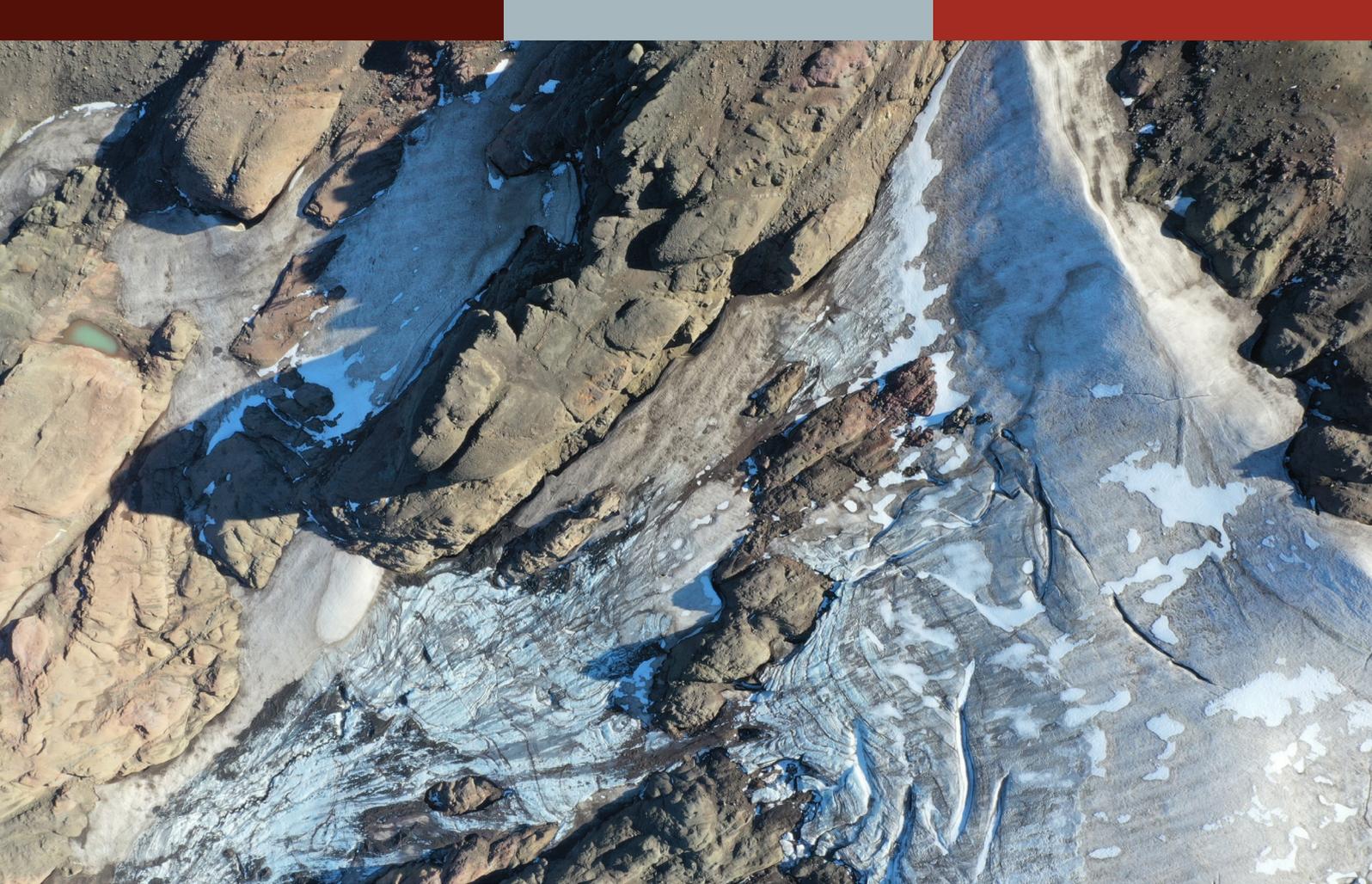


Notre expert en hydrogéologie **Romain Sonney** a participé à l'émission **Helvetia Durabilis** sur le thème de la géothermie diffusée le 19 octobre 2021 sur la chaîne RTS1. La géothermie est une source de chaleur soutenue par la Confédération et les cantons dans le cadre de la stratégie énergétique 2050. Elle n'émet pas de CO2, est indépendante des conditions climatiques et garantit un approvisionnement durable et constant.

Le CREALP développe des projets visant à valoriser le patrimoine hydrothermal des milieux alpins et aide à la gestion intégrée des installations d'exploitation thermique de la nappe phréatique comme celle de la plaine du Rhône.

L'émission **Helvetia durabilis** est à revoir sur le site de la RTS.





PUBLICATIONS



Afin de favoriser la diffusion des connaissances scientifiques auprès des chercheurs, experts, ou étudiants de la région alpine et d'ailleurs, notre Fondation encourage la publication en libre accès de ses articles de recherche. Toutes nos publications sont disponibles en ligne !



La nappe phréatique de la plaine du Rhône en Valais fait l'objet d'une surveillance régulière depuis plus de 50 ans. La réalisation des cartes piézométriques de l'aquifère alluvial de la vallée du Rhône, s'insère dans une logique de valorisation des informations stockées dans la base de données **Eaux Souterraines du Canton du Valais**. Elle vise la mise à disposition auprès des autorités cantonales et des praticiens, de produits à haute valeur ajoutée destinés, à améliorer la gestion, l'exploitation et la protection de cette ressource.

Consultez l'article publié dans **Aqua & Gas** pour mieux connaître comment ces cartes ont été élaborées.



Landslides
DOI 10.1007/s10346-020-01609-x
Received: 6 May 2020
Accepted: 10 December 2020
© The Author(s) 2021

Lene Kristensen · Justyna Czekirda · Ivanna Penna · Bernd Etzelmüller · Pierrick Nicolet · José Santiago Pullarello · Lars Harald Blikra · Ingrid Skrede · Simon Oldani · Antonio Abellan

Movements, failure and climatic control of the Veslemannen rockslide, Western Norway

Une publication dans la revue **Landslides** (Springer) décrit les différentes étapes d'un glissement de terrain progressif dans l'ouest de la Norvège. La publication comprend une discussion pertinente sur les vitesses de déplacements, les contrôles climatiques, l'analyse par télédétection, la gestion des risques, les dommages progressifs et la rupture finale. La publication a été dirigée par Lene Kristensen et Lars Blikra du *Norwegian Water Resources and Energy Directorate* (NVE), en collaboration avec le Geological Survey of Norway (NGU), UniOslo et Antonio Abellan à l'Université de Leeds. Le modèle de prédiction des vitesses pourra être utilisé sur des *instabilités de versant* en Valais dans un deuxième temps.



Journal of Hydrology 592 (2021) 125591

Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Hydrology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jhydrol

Research papers

Low-flow behavior of alpine catchments with varying quaternary cover under current and future climatic conditions

Marie Arnoux^{a,b,c}, Philip Brunner^a, Bettina Schaeffli^{b,c}, Rebecca Mott^d, Fabien Cochand^a, Daniel Hunkeler^a

^a Université de Neuchâtel, Centre d'Hydrogéologie et de Géothermie (CHYN), Rue Emile Argand 11, 2000 Neuchâtel, Switzerland
^b Institute of Earth Surface Dynamics, University of Lausanne, Géopôle Building UNIL, Mouline, 1015 Lausanne, Switzerland
^c Institute of Geography, University of Bern, Hallerstrasse 12, 3012 Bern, Switzerland
^d WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF, Flüelensstrasse 11, 7260 Davos Dorf, Switzerland
^e Centre de recherche sur l'environnement alpin (CREALP), Rue de l'Industrie 45, 1951 Sion, Switzerland

Les cours d'eau alpins sont particulièrement impactés par le changement climatique avec des périodes de hautes eaux qui ont lieu plus tôt dans l'année et des étiages estivaux qui sont plus prononcés. L'influence des eaux souterraines pourrait permettre de moduler ces effets. Cependant, le stockage des eaux souterraines et sa capacité à tamponner les changements attendus pour les débits des cours d'eau dans les zones alpines restent mal connus.

Dans cet article de notre spécialiste **Marie Arnoux** paru dans **Journal of Hydrology**, la géologie des bassins versants est utilisée comme base pour la classification du comportement futur des étiages estivaux de plusieurs bassins versants alpins en Suisse. Les résultats mettent en évidence que les bassins versants pour lesquels la contribution des eaux souterraines au débit est élevée par rapport aux précipitations, connaîtront une diminution moins prononcée du débit estival futur.



Article

MATLAB Virtual Toolbox for Retrospective Rockfall Source Detection and Volume Estimation Using 3D Point Clouds: A Case Study of a Subalpine Molasse Cliff

Dario Carrea ^{1,*}, Antonio Abellan ², Marc-Henri Derron ¹, Neal Gauvin ¹ and Michel Jaboyedoff ¹

¹ Risk Analysis Group, Institute of Earth Sciences, University of Lausanne, 1015 Lausanne, Switzerland; marc-henri.derron@unil.ch (M.-H.D.); neal.gauvin@epfl.ch (N.G.); michel.jaboyedoff@unil.ch (M.J.)

² CREALP-Centre De Recherche Sur L'environnement Alpin, 1950 Sion, Switzerland; antonio.abellan@crealp.vs.ch

* Correspondence: dario.carrea@unil.ch

L'utilisation de nuages de points 3D pour améliorer la compréhension des phénomènes naturels, est actuellement appliquée dans la quantification de l'activité des chutes de pierres.

Cet article, paru dans **Geosciences**, présente un *package open source* dans une boîte à outils développée dans l'environnement MATLAB, qui offre une solution 3D semi-automatique et qui va de l'extraction à l'identification et à l'estimation du volume des sources de chutes de pierres à l'aide de nouveaux algorithmes. Un résultat de l'étude montre l'influence du calcul du volume sur la distribution amplitude-fréquence et l'interprétation du processus d'érosion qui en résulte. Les outils sont disponibles sur www.github.com/carrdar.



JGR Earth Surface

RESEARCH ARTICLE
10.1029/2020JF006601

Key Points

- We derive a record of 8,026 calving events and sizes at Store Glacier in July 2017 using a terrestrial radar interferometer.
- We find no single clear control on calving and clear variations in calving behavior over time, producing a bimodal calving event.

Calving of a Large Greenlandic Tidewater Glacier has Complex Links to Meltwater Plumes and Mélange

Samuel J. Cook^{1,2}, Poul Christoffersen³, Martin Truffer¹, Thomas R. Chudley¹, and Antonio Abellan⁴

¹Scott Polar Research Institute, University of Cambridge, Cambridge, UK; ²Institut des Géosciences de l'Environnement, Université Grenoble Alpes, Grenoble, France; ³Geophysical Institute, University of Alaska, Fairbanks, AK, USA; ⁴Research Center on the Alpine Environment, Valais, Switzerland

Pour mieux comprendre la nature spatiotemporelle de la chute de blocs de glace, cet article présente le travail d'observation de la libération d'icebergs sur un grand glacier du Groenland. Les observations utilisant l'interférométrie radar correspondent bien avec celles d'une méthode indépendante (photographie aérienne par drone). Il a été observé que la production d'icebergs varie considérablement dans le temps, mais il n'y a pas un mécanisme unique qui contrôle cette variabilité.

Cela conduit à deux types d'événements de vêlage : de petits blocs tombant de la partie visible du front des glaciers et de gros blocs de toute l'épaisseur du front qui se détachent. Les observations montrent la complexité des processus superposés aux fronts des glaciers : la perte de volume est en fonction de la vitesse de formation et comprend intrinsèquement deux types de mécanisme où le processus dominant peut changer sur des périodes relativement courtes.



Modelización hidro-glaciológica actual y futura de la microcuenca Yanamarey en la cordillera Blanca, Perú

Current and future hydro-glaciological modeling of the Yanamarey microbasin in the Cordillera Blanca, Peru

Arnaldo Tacsí^{1,3*}, Thomas Condon³, Javier García⁴,
Alejo Cochachin¹, Abel Mejía³

*Autor de correspondencia



Recibido: 4/08/2021

Aceptado: 9/10/2021



Accounting for Climate Change Uncertainty in Long-Term Dam Risk Management

Javier Fluixá-Sanmartín¹; Ignacio Escuder-Bueno²;
Adrián Morales-Torres³; and Jessica Tamara Castillo-Rodríguez⁴

Les ressources en eau dans les Andes tropicales diminuent en raison de la fonte des glaces induite par le changement climatique. La dynamique de ruissellement et de fonte glaciaire a été évaluée dans le micro-bassin Yanamarey dans la Cordillère Blanche du Pérou, en appliquant une modélisation semi-distribuée avec RS MINERVE sous différents scénarios de changement climatique.

D'après l'étude, la masse de glace sera complètement convertie en ruissellement entre 2030 et 2036. L'étude prédit une réduction de 25% du débit par rapport à la période actuelle, affectant l'approvisionnement en eau pour l'agriculture et la population dans le futur.



La gestion de la sécurité des barrages doit s'adapter aux effets du changement climatique de façon à mieux aborder les nouveaux défis. En particulier, les incertitudes liées aux différents scénarios ont un impact sur la prise de décision dans le contexte de la gestion des risques de rupture des barrages. Dans l'article publié dans le **Journal of Water Resources Planning and Management** (ASCE), notre spécialiste **Javier Fluixá-Sanmartín** propose une méthodologie pour la définition des mesures optimales de réduction du risque à long terme, en incluant l'incertitude des scénarios climatiques.





En milieu montagneux, une simulation réaliste du manteau neigeux est primordiale pour bien des domaines (hydrologie, écologie, etc.). Malheureusement, les données d'entrée météorologiques y sont généralement limitées, ce qui augmente l'incertitude des simulations. Dans cet article, une nouvelle approche est proposée pour la calibration d'un modèle intégrant le bilan d'énergie du manteau neigeux et qui tient compte de la redistribution gravitationnelle de la neige. Plusieurs paramètres ont été estimés à l'aide d'une méthode basée sur deux types d'observations : la couverture de neige observée par satellite et les séries reconstruites d'équivalent en eau de neige.

Cet article démontre que les modèles de neige, la télédétection et les approches inverses peuvent être combinés pour déterminer les paramètres et quantifier l'incertitude associée aux simulations de la dynamique du manteau neigeux alpin.



unine
UNIVERSITÉ DE
NEUCHÂTEL

CHYN
Centre d'hydrogéologie
et de géothermie

ISSKA
SISKA
ISSCA
SISKA

Effect of Climate Change on Groundwater Quantity and Quality in Switzerland

D. HUNKELER, A. MALARD, M. ARNOUX, P.-Y. JEANNIN AND P. BRUNNER

Ce rapport résume l'état actuel des connaissances sur la manière dont le changement climatique affecte la quantité, la qualité et la température des eaux souterraines en Suisse.

La recharge des eaux souterraines est modifiée différemment selon l'altitude et les saisons. Marie ArnoUX, coauteure de ce rapport, contribue principalement sur la partie Alpine des ressources en eaux souterraines où la recharge va augmenter en hiver et fortement diminuer en été entraînant des répercussions sur les systèmes situés en aval. L'impact sur les réserves et les flux d'eaux souterraines dépendra aussi du contexte hydrogéologique et de l'évolution des pompages. La qualité des eaux souterraines est principalement contrôlée par des facteurs anthropiques, qui peuvent être modifiés par le changement climatique. Dans ce contexte, des stratégies intégrées de gestion des eaux souterraines sont nécessaires.





FORMATION



Le CREALP renforce sa filière de formation !

Nous sommes au cœur d'une transformation structurelle profonde et l'apprentissage est capital pour le bon fonctionnement de notre centre.

Nos collaborateurs ont bénéficié de formations spécifiques adaptées aux nouveaux besoins de nos activités. Durant l'année écoulée, ils ont également supervisé plusieurs projets de master, stages de formation, travaux de diplôme, projets BNF, affectations du service civil, etc...

Êtes-vous intéressé.e à collaborer avec nous pour la suite? N'hésitez pas à consulter notre site internet (www.crealp.ch) pour mieux connaître nos domaines d'activités, projets, compétences, ainsi que notre équipe, etc.

FORMATION SUR CORDES

Les collaborateurs du CREALP sont amenés régulièrement à installer et à maintenir des installations dans des terrains exposés où le risque de chute est avéré. Pour répondre à l'évolution des exigences, deux collaborateurs du CREALP ont été formés aux pratiques de travaux en hauteur sur cordes. Le cours de formation "Travaux sur cordes", dispensé par l'ASRETC en novembre 2021, a permis à **Eric Travaglini** d'obtenir le niveau 2 et à **Thierry Nendaz** d'obtenir le niveau 1. Ces certifications sont nécessaires pour l'installation de systèmes de mesures dans les cours d'eau. Grâce à ces formations, nos collaborateurs ont notamment pu installer différents systèmes de mesure dans les cours d'eau (radars sous les tabliers de pont, échelles limnimétriques sur les berges).



CAS EN GESTION DES SYSTÈMES GÉOTHERMIQUES PROFONDS

Notre collaboratrice en hydrogéologie **Marie Clausen-Luyet** a participé à la 5^{ème} édition du *Certificate of Advanced Studies «Deep Geothermal Systems»* à l'Université de Neuchâtel qui s'est déroulée de septembre 2020 à mai 2021. Cette formation de 10 ECTS dispensée par le Centre d'Hydrogéologie et de Géothermie (CHYN) est composée de quatre modules, sous forme de cours bloc concernant les thèmes suivants :

- Module 1 : Géothermie et Géophysique
- Module 2 : Géochimie et Hydrochimie
- Module 3 : Forage
- Module 4 : Évaluation des réservoirs et production

Le 5^{ème} module consiste en un rapport technique écrit. Le rapport technique intitulé : «*Geothermal systems and induced seismicity: Review and implications for future geothermal development in the Canton of Valais, Switzerland*» traite de la problématique de la sismicité induite et des enjeux liés au développement géothermique en Valais. La 6^{ème} édition de ce CAS aura lieu de septembre 2022 à mars 2023 à l'Université de Neuchâtel.

Ces nouvelles compétences permettront au CREALP de renforcer ses prestations en lien avec la géothermie afin de mieux s'adapter aux contraintes imposées par la situation environnementale actuelle.

Plus d'infos sur : www.unine.ch/cas-deegeosys

NOUVEAUX COLLABORATEURS

Le CREALP accueille des nouveaux collaborateurs, stagiaires et étudiants de master pour renforcer à la fois ses domaines d'expertise pour leur offrir une première expérience professionnelle



OCÉANE HAMES

Collaboratrice scientifique en hydrologie et ressources naturelles

Après ses études de bachelor en Belgique et un master à l'EPFL en Ingénierie de l'environnement, Océane est arrivée au CREALP après un passage au SLF où elle a fait un stage sur le développement d'un modèle de transport de neige dans les environnements polaires.

Au sein de notre équipe, Océane a pu se consacrer à des projets en lien avec l'environnement alpin. Elle a participé au projet MINERVE de suivi hydrométéorologique en Valais en développant des outils pour l'exploitation de données, et a conduit des campagnes de mesures sur le terrain pour plusieurs mandats. Océane a également aidé à concevoir un système d'alerte météorologique pour la gestion des situations à risque sur la route d'accès au Vallon de Moiry, mais aussi dans l'acquisition et le traitement de données de drone pour la construction de modèles numériques de terrain.

Son travail a permis d'améliorer les processus de gestion des données en introduisant des nouvelles technologies telles que l'Open Data Cube et en permettant ainsi une gestion plus efficace des ressources de calcul. Océane a également participé au développement d'un code Python pour le suivi des déformations dans le cadre d'un projet Innosuisse.

XAVIER BRUCHWALDER

Collaborateur scientifique

Xavier a obtenu son Master EPFL en Sciences et Ingénierie de l'Environnement en 2020. Après son projet de Master au SLF en 2020, il a voulu approfondir ses connaissances du milieu alpin et a rejoint le CREALP dans le cadre de son service civil en juin 2020. A la fin de ce service, il a eu l'opportunité de continuer quelques mois sa carrière au CREALP en tant que collaborateur scientifique en ressources et dangers naturels.

Son expérience en photogrammétrie et SIG lui a permis d'apporter son soutien sur des projets variés, allant de la réalisation de cartes pour le projet RESERVAQUA, au pilotage d'un drone pour améliorer la récolte d'orthophotos et d'imagerie thermique en montagne.



CORINNA FRANK

Stagiaire et étudiante Master EPFL

J'ai rejoint l'équipe du CREALP en tant que stagiaire pendant six mois. Après un projet de semestre qui visait le développement d'un modèle de prévision de niveaux de nappe phréatique avec des méthodes d'intelligence artificielle, j'ai eu la chance d'implémenter ce modèle dans le nouveau système d'information cantonal sur les eaux souterraines. C'était une expérience enrichissante qui m'a appris les processus de l'implémentation concrète qui suivent un projet d'étudiant.

En parallèle, j'ai effectué mon travail de master au CREALP où j'ai testé l'adéquation des méthodes de machine learning pour la prévision à court terme du débit des cours d'eau.

Je remercie le CREALP de m'avoir donné l'opportunité d'appliquer mes compétences acquises pendant les études dans la pratique. Merci pour votre accompagnement et l'accueil chaleureux dans votre équipe.



JOËLLE JELTSCH

Stagiaire et étudiante Master UNIL

En 2021, Joëlle a poursuivi son master en Sciences de l'Environnement, spécialisation risques et dangers naturels à l'Université de Lausanne en réalisant un travail de mémoire sur les laves torrentielles de la commune de Chamason.

En parallèle de ses études, elle a effectué un stage au sein de notre établissement axé principalement sur la communication du CREALP en participant à la création du nouveau site web du CREALP. Elle a également pris part au projet Roches et Carrières du Valais en créant une carte ludique et interactive.

De plus, Joëlle a également contribué au projet RhoneTal 3D en compilant l'ensemble des données de base et en encodant des relevés géologiques de sondages.

Dans le cadre de son travail de master, Joëlle a pu s'appuyer sur des données fournies par le CREALP via le portail web Guardaval.



ROMANE COLLIN

Étudiante Master EPFL

J'ai eu l'occasion de collaborer avec le CREALP dans le cadre d'un projet de semestre à l'EPFL. Nous avons initié un modèle de Machine Learning de prévision du niveau de la nappe phréatique après avoir étudié les différents facteurs et interactions qui se jouent dans la plaine du Rhône.

L'anticipation des remontées de nappes permet une meilleure gestion des ressources souterraines, et de prévenir des problèmes d'inondation ou de pollution.

J'ai véritablement apprécié cette expérience avec le CREALP, où j'ai pu travailler avec une équipe encourageante et bienveillante. Grâce au CREALP, j'ai également eu la chance de participer au 19th Swiss Geoscience Meeting pour présenter nos résultats, et j'ai la satisfaction de savoir qu'un outil opérationnel est en cours de création à partir de ce modèle.

CORALINE BAUD

Étudiante Master EPFL

Dans l'optique d'une constante amélioration des prévisions des crues dans le bassin versant du Rhône, le CREALP met à jour régulièrement le système opérationnel MINERVE et développe de nouveaux modèles hydrologiques spécialement adaptés pour l'environnement alpin de cette région.

Pour pallier les incertitudes de la modélisation, ce système propose également des prévisions incluant une assimilation de données d'observations de débits en temps réel. Dans le cadre de mon projet de master à l'EPFL, j'ai pu développer différents schémas d'implémentation d'assimilation de données, notamment en variant la durée de la fenêtre d'assimilation, le type de variable mis à jour ou encore la méthode utilisée. Cette étude a permis de mettre en évidence la configuration optimale pour optimiser l'assimilation de données pour la prévision hydrologique.

Cette collaboration a été très enrichissante et m'a donné l'occasion d'approfondir mes connaissances dans la modélisation numérique et de découvrir l'assimilation de données, une thématique qui m'était encore inconnue.



GABRIEL HUNGER

Stagiaire BNF

Mon travail était lié à un projet BNF intitulé « Towards a long-term and sustainable groundwater quality management on a changing climate ». Ce projet avait pour but d'évaluer la qualité ainsi que la durabilité des eaux souterraines, concernant les composés chimiques et biologiques. Dans le contexte climatique actuel, ainsi que pour aider les municipalités lors de la gestion et de la distribution de l'eau potable, ce projet a été fait en partenariat avec la commune de Val de Bagnes.

Les objectifs étaient d'évaluer la présence naturelle d'éléments traces dans les eaux souterraines (arsenic et fluorures) dans les aquifères cristallins et le fer et le manganèse dans les aquifères quaternaires sont présentes dans les Alpes. Le but du projet était de 1) réaliser une recherche bibliographique 2) réaliser des campagnes d'échantillonnage pour des analyses de laboratoire 3) développer un outil de consultation des relations entre les différentes lithologies et les éléments traces.



BUDGET ET FINANCES



BILAN AU 31 DÉCEMBRE 2021

	2021	2020
ACTIF		
Actif circulant		
Trésorerie	340'817.00	305'269.00
Créances nettes résultant de prestations de service	1'023'805.00	936'170.00
Actifs de régularisation	24'616.00	20'985.00
Total de l'actif circulant	1'389'238.00 CHF	1'262'424.00 CHF
Actif immobilisé		
Immobilisations corporelles	2.00	1.00
Total de l'actif immobilisé	2.00 CHF	1.00 CHF
TOTAL DE L'ACTIF	1'389'240.00 CHF	1'262'425.00 CHF

PASSIF		
Capitaux étrangers à court terme		
Dette résultant de l'achat de biens et de prestations de service	79'626.00	162'295.00
Passifs de régularisation	111'119.00	50'000.00
Total des capitaux étrangers à court terme	190'743.00	212'295.00
Capitaux étrangers à long terme		
Provision recapitalisation caisse de prévoyance	79'040.00	100'000.00
Provision restructuration	150'000.00	125'000.00
Total des capitaux étrangers à long terme	229'040.00	225'000.00
Total des capitaux étrangers	419'783.00 CHF	437'295.00 CHF
Capitaux propres		
Capital de base	100'000.00	100'000.00
Capital lié	60'000.00	0.00
Capital libre	775'131.00	702'376.00
Résultat annuel	34'325.00	22'755.00
Total des capitaux propres	969'456.00 CHF	825'131.00 CHF
TOTAL DU PASSIF	1'389'240.00 CHF	1'262'425.00 CHF

* Présentation des comptes selon la norme Swiss GAAP RPC 21

COMPTE DE PERTES ET PROFITS POUR 2021

	2021		2020
PRODUITS			
GeoRessources	217'853.00	Risques naturels	731'616.00
Monitoring environnemental	898'224.00	Ressources naturelles	1'127'296.00
Dangers naturels	986'006.00	Outils et services	287'037.00
Contributions institutionnelles	91'614.00	Contributions institutionnelles	60'000.00
Contribution Loterie Romande	50'000.00	Ajustement provision pertes sur débiteurs	14'097.00
Ajustement provision pertes sur débiteurs	-4'633.00		
Autres produits	22'000.00		
TOTAL PRODUITS	2'261'065.00 CHF	TOTAL PRODUITS	2'220'046.00 CHF

CHARGES			
Charges de matériel	142'111.00	Charges de matériel	124'725.00
Frais de personnel	1'833'019.00	Frais de personnel	1'762'746.00
Autres charges d'exploitation	76'602.00	Autres charges d'exploitation	123'126.00
Charges d'administration	119'386.00	Charges d'administration	183'300.00
Amortissement	3'859.00	Amortissement	1'572.00
TOTAL CHARGES	2'174'977.00 CHF	TOTAL CHARGES	2'195'469.00 CHF

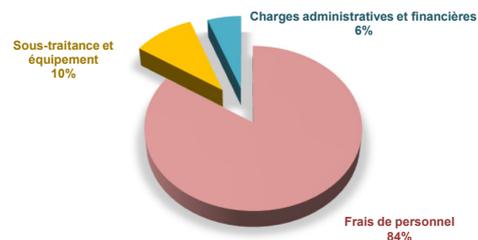
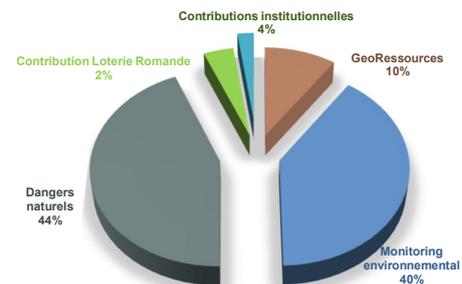
RÉSULTAT D'EXPLOITATION	86'086.00 CHF		24'577.00 CHF
--------------------------------	----------------------	--	----------------------

Résultat financier	-3'405.00	Résultat financier	-1'823.00
Résultat exceptionnel	61'645.00	Résultat exceptionnel	0.00

RÉSULTAT ANNUEL avant allocations du capital de l'organisation	144'326.00 CHF		22'755.00 CHF
--	-----------------------	--	----------------------

Attributions capital lié	-50'000.00		
Attributions capital libre	-60'000.00		

RÉSULTAT ANNUEL	34'325.00 CHF		22'755.00 CHF
------------------------	----------------------	--	----------------------



* Présentation des comptes selon la norme Swiss GAAP RPC 21

NOS PARTENAIRES



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

swisstopo
+ + +



Région Autonome
Vallée d'Aoste
Regione Autonoma
Valle d'Aosta

Interreg  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale
ITALIA SVIZZERA - ITALIE SUISSE - ITALIEN SCHWEIZ



**CANTON DU VALAIS
KANTON WALLIS**

   **GFDRR**
Small Facility for Climate Resilience and Recovery
ACP-EU Natural Disaster Risk Reduction Program

unine
UNIVERSITÉ DE
NEUCHÂTEL

 **THE WORLD BANK**
IBRD • IDA | WORLD BANK GROUP

Unil

UNIL | Université de Lausanne

EPFL 
UNIVERSITAT DE
BARCELONA

 | **SION**

**UNI
FR**
UNIVERSITÉ DE FRIBOURG
UNIVERSITÄT FREIBURG



Hes·SO
Haute Ecole Spécialisée
de Suisse occidentale

CPPS

OIKEN



Fondation pour le développement durable
des régions de montagne



cimark



REMERCIEMENTS

Nous remercions la Ville de Sion et l'Etat du Valais, qui ont eu jadis la vision de fonder le CREALP, et qui, durant plus de cinquante ans, lui ont accordé leur confiance et leur soutien. Nos remerciements s'adressent particulièrement à la Direction, aux collaboratrices et collaborateurs, aux membres du Conseil de Fondation et aux membres du Groupe d'accompagnement technico-scientifique.

Rédaction : Collaborateurs du CREALP

Mise en page: Javier Fluxia Sanmartin, Ivann Milenkovic

Illustrations : Pages de couverture et de dos ©Saskia Gindraux. Page 2: Bisse de Vercorin©Valais/Wallis Promotion- David Carlier | Page 6 : Lac de montagne et Sparrhorn ©Switzerland Tourism / Jan Geerk | Page 28 2018_DentBlanche_1_©Valais Wallis Promotion- Alban Mathieu | Page 42 Aletsch ©Valais Wallis Promotion- Pascal Gertschen | Pages 11, 24, 34, 40, 42 : ©Freepik.com | Autres illustrations : ©CREALP

Raphaël Marclay

Président du Conseil de Fondation

Antonio Abellán

Directeur du CREALP



SION



**CANTON DU VALAIS
KANTON WALLIS**



CENTRE DE RECHERCHE SUR L'ENVIRONNEMENT ALPIN

Rue de l'Industrie 45, CH-1950 Sion | Tél. +41 (0) 27 607 11 80 | crealp@crealp.vs.ch

