

NAPPE PHRÉATIQUE DE LA PLAINE DU RHÔNE

CARTOGRAPHIE DE LA PIÉZOMÉTRIE À L'ÉCHELLE DE LA VALLÉE DU RHÔNE ENTRE BRIG ET LE LÉMAN

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 et vise la mise à disposition 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.

Romain Sonney*; Pascal Ornstein; Marie Arnoux, Centre de recherche sur l'environnement alpin (CREALP)
Pierre Christe, Service de l'environnement (SEN), Canton du Valais

ZUSAMMENFASSUNG

DAS GRUNDWASSER IN DER RHONEEBENE – KARTENWERK DER PIEZOMETERMESSEWERTE IM RHONETAL ZWISCHEN BRIG UND GENFER SEE

Das Centre de recherche sur l'environnement alpin (CREALP; zu Deutsch in etwa: Alpines Umweltforschungszentrum) und der Kanton Wallis arbeiten seit mehr als 25 Jahren zusammen, um die Überwachung des Aquifers im Schwemmland der Rhoneebene zu gewährleisten. Seit 2018 wird der Bewertung der Beobachtungsdaten, die bei dieser Überwachung gewonnen wurden, und der Erarbeitung verschiedener kartografischer Werkzeuge und Produkte besondere Aufmerksamkeit gewidmet. In diesem Rahmen wurde kürzlich ein erster monatlicher piézometrischer Referenzkartensatz für einen Durchschnittszeitraum von 40 Jahren (Zeitraum 1976–2017) für die Region Sierre-Evionnaz erarbeitet. Die Karten wurden über einen geostatistischen Ansatz durch Kriging mit externer Drift (KED) berechnet. Diese dienen zur Anleitung und Verbesserung der Berechnung neuer Karten in informationsarmen Gebieten aus Datensätzen, die viel weniger dicht sind (<70–90%) als die, die für die Berechnung der Kartenentwürfe verwendet wurden. Diese Technik wurde insbesondere zur Kartografierung besonderer piézometrischer Bedingungen natürlichen (z. B. Überschwemmungsphänomene) oder anthropogenen Ursprungs (z. B. Einfluss von Pumpen) erstellt. Da sie sowohl für Behörden als auch

CADRE ET OBJECTIFS

La mise en œuvre des mesures de protection des eaux souterraines telles que prévues par la législation fédérale est en pratique dépendante de l'état des connaissances disponibles sur la ressource en eau. Cette connaissance ne peut être développée qu'au travers des différents processus permettant de collecter, consolider, agréger et diffuser les données d'observations sur les eaux souterraines et le sous-sol.

Le Centre de recherche sur l'environnement alpin (CREALP) contribue activement, depuis plus de 25 ans en collaboration étroite avec différents services du Canton du Valais, à la mise en œuvre de ces processus ainsi qu'à la valorisation des données sous forme de produits et d'outils destinés aux gestionnaires cantonaux, communaux ainsi qu'aux praticiens. C'est dans cet objectif de valorisation que le Service de l'environnement (SEN) du Canton du Valais a mandaté le CREALP en 2018 pour la réalisation «au fil de l'eau» de cartes piézométriques mensuelles de l'aquifère alluvial de la plaine du Rhône. Ce chantier ambitieux a débuté en 2019 avec l'élaboration des cartes afférentes à la région du Valais Central (de Sierre à Évionnaz).

* Contact: romain.sonney@crealp.vs.ch

(Photo: © Roman Babakin/123RF.com)

HYDROGÉOLOGIE DE LA VALLÉE DU RHÔNE

La nature et l'agencement des sédiments rencontrés dans la vallée du Rhône entre Brig et le lac Léman (env. 120 km) est étroitement lié à l'histoire des avancées et retraits glaciaires durant l'ère quaternaire. L'épaisseur du remplissage quaternaire peut atteindre localement près de 1000 m et reste encore mal documentée en profondeur [1, 2]. À ce jour, l'essentiel du système aquifère exploité (nappe phréatique du Rhône) a une épaisseur moyenne de 50 m environ. Il se compose principalement d'alluvions grossières perméables et de matériaux plus fins correspondants à des dépôts d'inondation et/ou marécageux. Latéralement peuvent venir s'intercaler des sédiments issus des cônes de déjection déposés par les affluents du Rhône. Les processus de dépôt des sédiments quaternaires dans une vallée alpine sont complexes et peuvent localement occasionner de fortes hétérogénéités horizontales et verticales (fig. 1).

La nappe phréatique du Rhône s'écoule avec un gradient moyen de 2‰ et un battement saisonnier d'environ 1 m. En dehors des cônes de déjection, le toit de la nappe est relativement proche de la surface (1 à 3 m de profondeur). La nappe est principalement alimentée par les précipitations et le Rhône. Les données d'observation indiquent que les apports de versants viennent également contribuer à la recharge aquifère, bien qu'ils restent

encore difficiles à quantifier précisément. La relation entre le Rhône et la nappe phréatique n'est pas univoque dans l'espace et dans le temps, le Rhône pouvant tour à tour, dans certains secteurs de plaine et/ou à certaines périodes de l'année, alimenter ou drainer la nappe phréatique. En outre, un réseau dense de canaux a été construit au cours du 19^e siècle dans le but de drainer la plaine et permettre l'exploitation des terres et ainsi favoriser l'essor de l'agriculture dans la vallée du Rhône. Ces canaux continuent à réguler localement le niveau de la nappe phréatique.

SURVEILLANCE OPÉRATIONNELLE DES EAUX SOUTERRAINES

La nappe phréatique de la plaine du Rhône fait l'objet d'une surveillance plus ou moins régulière depuis plus de 50 ans. La surveillance quantitative de la nappe entre Brig et le Léman est assurée depuis les années 2000 par un réseau cantonal fort d'environ 140 stations de mesure auxquelles sont venues s'ajouter 180 stations rattachées au projet de la 3^e correction du Rhône. Ces stations sont équipées de sondes de mesures en continu mesurant les niveaux, la température et pour certaines également la conductivité électrique des eaux souterraines. Depuis les années 2000, ces stations ont été progressivement dotées de modules de télétransmission des données. Le CREALP assure, sous mandat

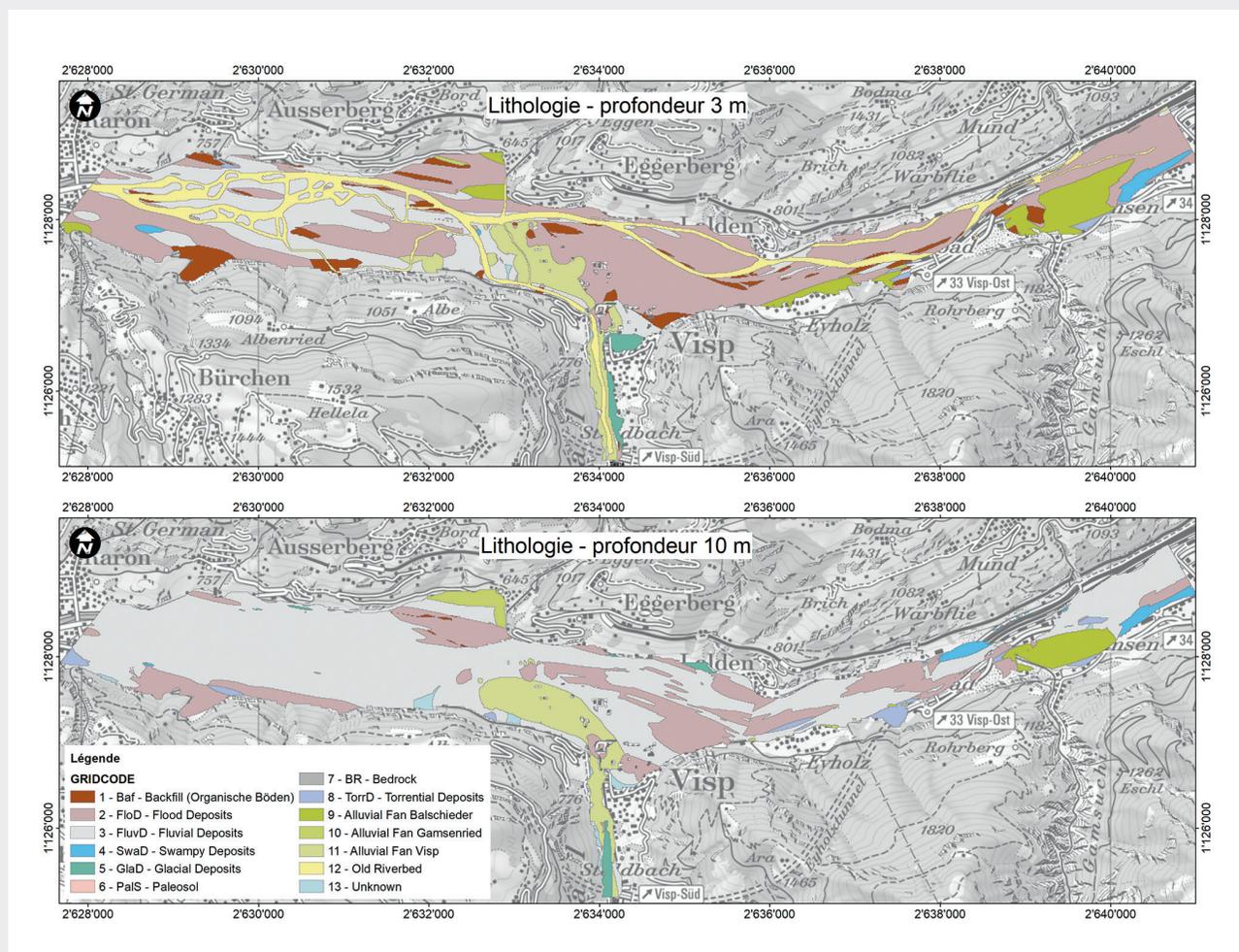


Fig. 1 Cartes lithologiques de la plaine du Rhône dans la région de Viège mettant en évidence la distribution des matériaux constitutifs du sous-sol à respectivement 3 m et 10 m de profondeur. Les cartes sont extraites d'un modèle géologique 3D réalisé à partir des données de forage disponibles dans le cadastre cantonal des forages. (<https://geocadast.crealp.ch/>; source: SEN)

cantonal, la maintenance des stations, la collecte, le traitement et l'archivage des données. Depuis 2003, les données d'observation quantitatives de la nappe sont bancarisées dans la base de données hydrogéologique cantonale REGIS [3].

MÉTHODOLOGIE DE PRODUCTION DES CARTES

L'ensemble des données d'observation a permis la réalisation de cartes piézométriques mensuelles «au fil de l'eau» de la nappe phréatique, par la technique du krigeage avec dérive externe (KDE) ou krigeage universel [4-6]. Le principe de base admis suppose que la géométrie de la surface piézométrique reste à peu près invariante dans le temps et fluctue autour d'une moyenne (= dérive). Cette dérive peut être représentée par une surface comme par exemple un modèle numérique de terrain ou, comme dans le cas présent, par une surface piézométrique de référence (= ébauche). Par comparaison au krigeage ordinaire (KO), la technique du KDE permet une amélioration sensible de la précision des estimations notamment dans les secteurs sous-échantillonnés, car la tendance générale de la dérive externe aura été respectée lors de l'interpolation. La première étape consiste donc à calculer les ébauches, au nombre total de 12, une par mois, qui feront office de dérive externe.

SURFACES DE RÉFÉRENCES MENSUELLES (ÉBAUCHES)

Des surfaces de références mensuelles ont été élaborées entre Sierre et Évionnaz pour la période 1976¹-2017. Ces surfaces peuvent être considérées comme des «normes» qui représentent les niveaux mensuels moyens de la nappe calculés sur une période d'observation de 40 ans. Comme il est admis que la surface piézométrique fluctue autour d'une moyenne, le niveau piézométrique au point x à l'instant t P(x,t) peut s'exprimer selon l'équation 1:

$$P(x,t) = E(x) + R(x,t)$$

Eq. 1 *Calcul du niveau piézométrique avec: P(x,t): Piézométrie au point x, à l'instant t; E(x): piézométrie moyenne au point x (= Ébauche); R(x,t): fluctuation au point x et à l'instant t de la piézométrie autour de la moyenne (= Résidu)*

Techniquement, le processus d'élaboration des cartes se compose de 4 étapes qui sont schématisées dans la figure 2.

1. Analyse exploratoire des données de base Cette première étape essentielle vise à caractériser le jeu de données du point de vue statistique et à dégager la structure

(i.e. relations spatiales) de celles-ci. Elle permet également de s'affranchir des données erratiques et/ou des doublons. La figure 3 résume les caractéristiques des différents jeux de données utilisés pour

¹ Date de mise en service des 1^{ères} stations de mesure automatisées.

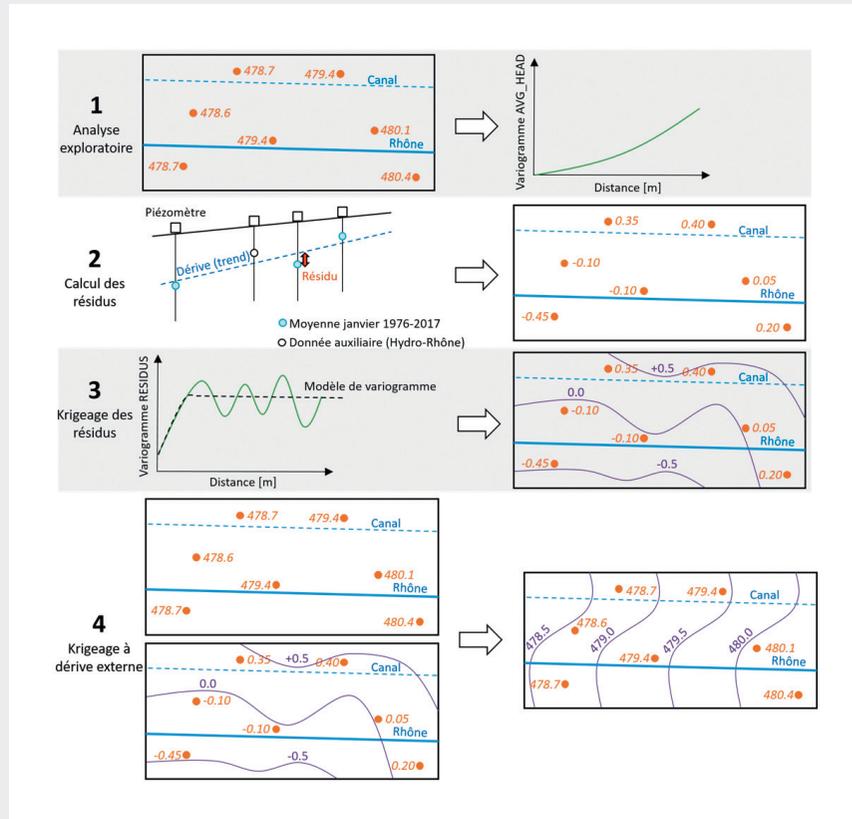


Fig. 2 Processus de réalisation des cartes piézométriques basé sur la technique du krigeage à dérive externe (KDE).

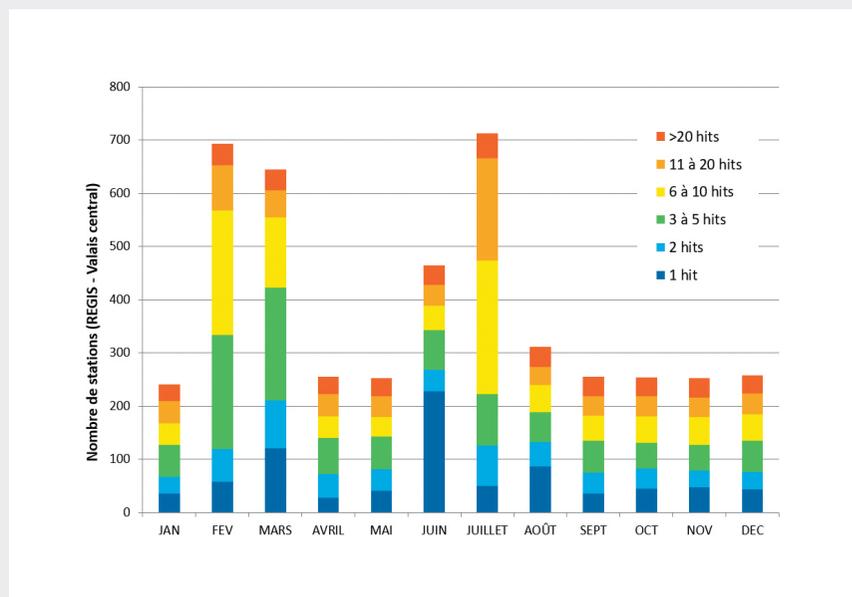


Fig. 3 Synthèse des données utilisées dans le secteur Sierre-Evionnaz pour la réalisation des surfaces de références mensuelles pour la période 1976-2017 (hit = nombre d'années d'observation disponibles pour le mois courant).

l'élaboration des surfaces de références mensuelles pour le secteur Sierre-Évionnaz. Les mois de février, mars, juin et juillet sont les plus fournis en données du fait de la réalisation par le passé de nombreuses campagnes de terrain visant à suivre les niveaux de la nappe pour les périodes dites de «basses eaux» (février-mars) et de «hautes eaux» (juin-juillet) calées sur le régime hydrologique du Rhône.

2. Calcul des résidus

Cette deuxième étape consiste à calculer pour chaque point du jeu de données de base, l'écart (= résidu) entre le niveau mensuel moyen déduit statistiquement et la pente de la nappe considérée comme une dérive et inférée de manière géostatistique.

3. Krigeage des résidus

Cette troisième étape permet d'élaborer une carte des résidus sur l'ensemble du champ d'étude. Elle implique la caracté-

risation de la structure spatiale des données à l'aide d'une analyse variographique qui va permettre de modéliser la corrélation spatiale des données à différentes distances. L'ajustement du modèle de variogramme est une étape décisive qui garantit que l'interpolation (= krigeage) respectera les mesures.

4. Calcul des cartes piézométriques

À l'issue de l'étape 3, une carte des résidus est disponible pour chaque mois. Ces cartes seront utilisées comme support (*background*) dans l'étape finale qui consiste à interpoler la piézométrie moyenne mensuelle par la technique du KDE. Grâce à cette méthode de calcul, il est possible d'obtenir une interpolation de la surface piézométrique mieux contrainte et plus plausible pour les secteurs présentant un déficit de mesures (*fig. 4*).

Ces cartes de référence (= ébauches) fournissent des documents de base permettant d'identifier et/ou de caracté-

riser des processus hydrogéologiques locaux ou régionaux. Elles permettent également la production de produits dérivés à valeur ajoutée comme les cartes d'épaisseur de la zone non saturée (*fig. 5*) et du battement naturel de la nappe (*fig. 6*). Autant d'outils pouvant être mis avantageusement à profit pour les tâches d'aménagement du territoire aussi bien que de gestion et de protection de la ressource en eau de la plaine du Rhône.

PRODUCTION DE CARTES «AU FIL DE L'EAU»

La production «au fil de l'eau» des cartes piézométriques mensuelles de la nappe phréatique du Rhône constitue le second volet du travail engagé par le SEN et le CREALP en 2019. L'objectif visé est la production de catalogues annuels de la piézométrie de la nappe phréatique de la plaine du Rhône. L'élaboration des cartes se fait en deux phases: dans un premier temps, calcul de cartes provisoires à partir des données d'observation en continu

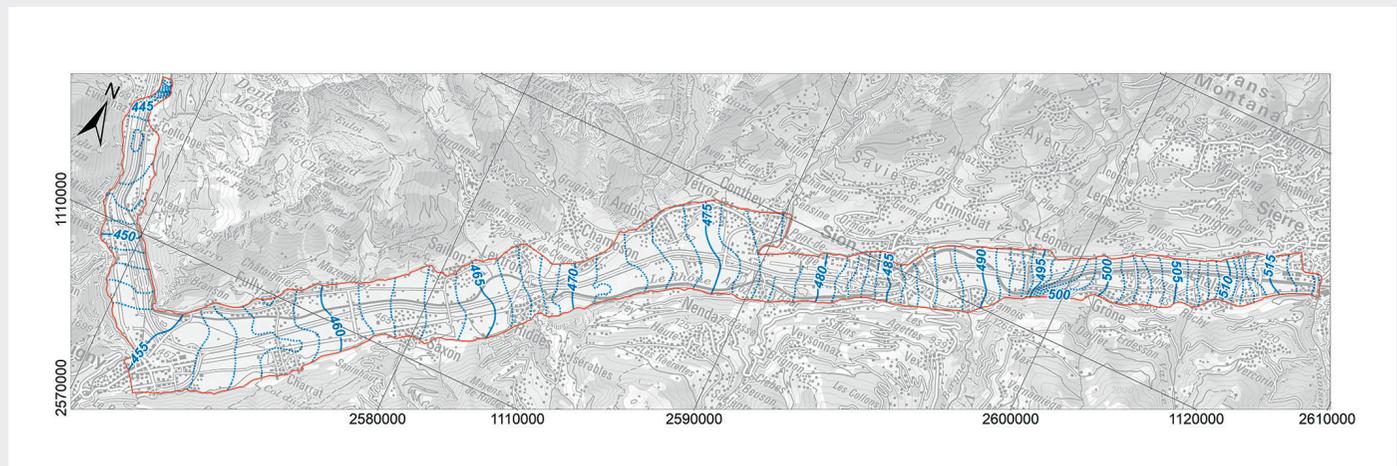


Fig. 4 Isopièzes moyennes en mètre représentatives du mois de février calculées pour la période de référence 1976–2017 (secteur Sierre-Évionnaz).

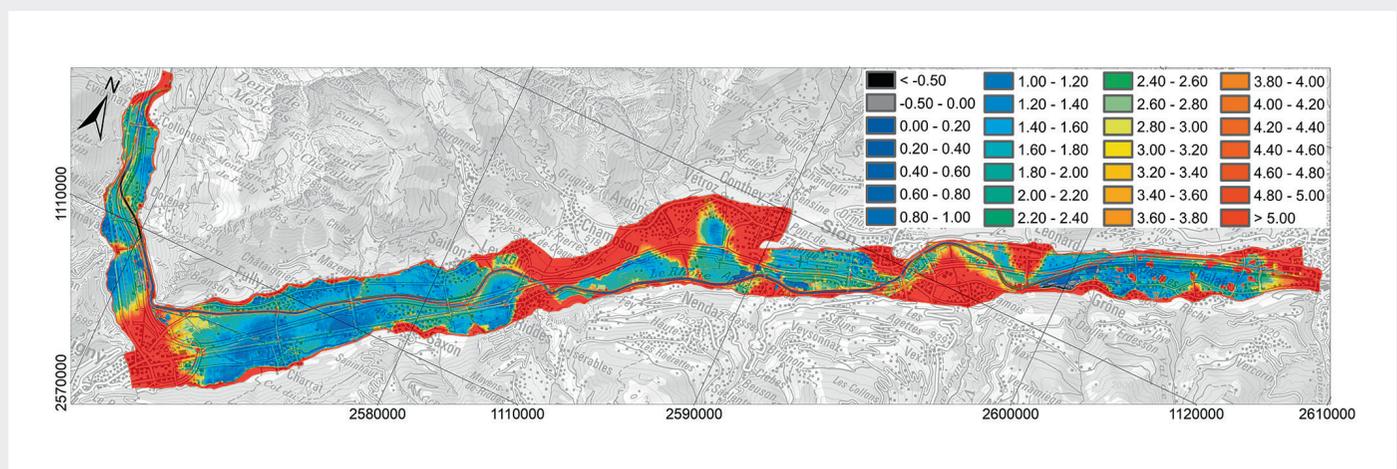


Fig. 5 Épaisseur moyenne de la zone non saturée en mètre représentative du mois de février calculée pour la période de référence 1976–2017 (secteur Sierre-Évionnaz).

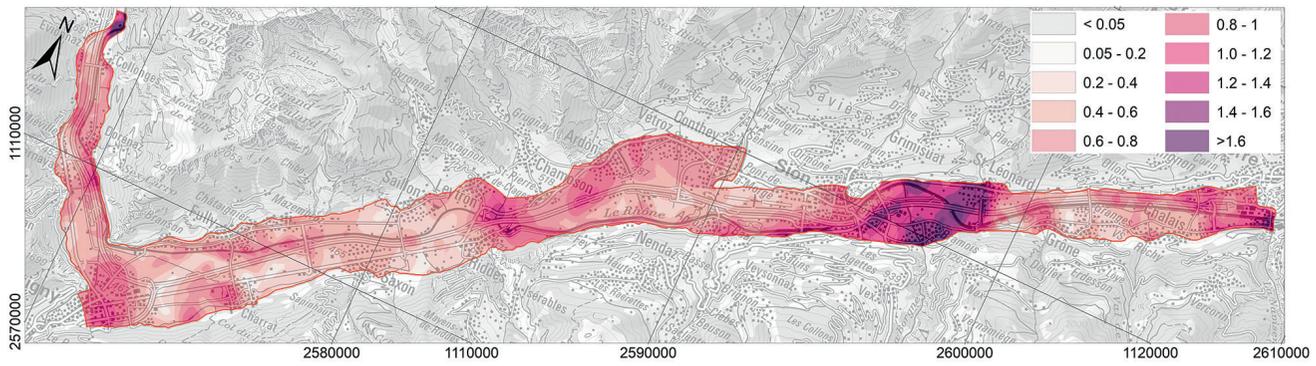


Fig. 6 Battement naturel de la nappe en mètre calculé pour la période 1976–2017 (secteur Sierre-Évionnaz).

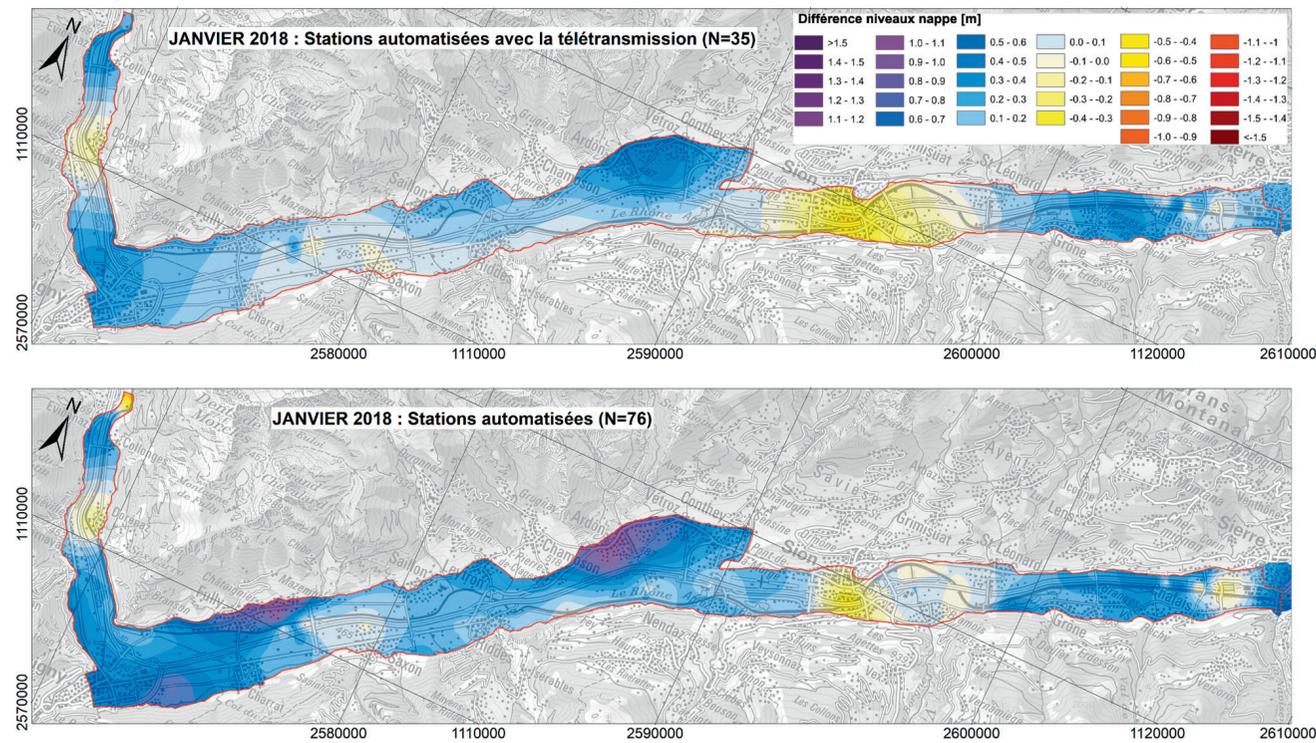


Fig. 7 Analyse de l'effet des intempéries de janvier 2018 sur les niveaux de la nappe. Différence entre la carte piézométrique moyenne de janvier 2018 et la carte piézométrique moyenne de janvier pour la période 1976–2017, calculée dans un premier temps à partir de 35 stations automatisées avec la télétransmission (haut), puis dans un deuxième temps à partir de l'ensemble des 76 stations automatisées (bas). Les apports de versants influençant la piézométrie dans la plaine du Rhône sont clairement mis en évidence (bleu foncé à violet). L'anomalie constatée au droit de Sion est d'origine anthropique et rattachée à un rabattement temporaire de la nappe pour les besoins d'un chantier de construction (jaune).

collectées à distance via les stations de mesure dotées de la télétransmission, et dans un deuxième temps, production des cartes consolidées à partir de toutes les données d'observation en continu collectées sur le terrain puis traitées et validées. Pour le secteur Sierre-Évionnaz, le jeu de données exploitables est ainsi multiplié par deux d'une étape à l'autre. La figure 7 illustre un exemple de cartes

réalisées suite aux intempéries que le Canton du Valais a connu en janvier 2018 (précipitations intenses accentuées par la fonte de la neige à moyenne altitude). Les stations équipées de modules de télétransmission (35 unités) ont permis dans un premier temps d'analyser rapidement l'effet des intempéries sur les niveaux de la nappe (rapid mapping). Des remontées de la nappe en lien avec des

apports latéraux depuis les versants ont été ainsi mises en évidence, notamment dans les secteurs du coude du Rhône à Martigny, de Vétroz-Ardon ou encore de Réchy-Chalais. Par la suite, ces premières tendances ont pu être confirmées et précisées suite à la récupération sur le terrain et à l'intégration des données de l'ensemble du réseau de surveillance (76 unités).

CAS D'APPLICATION

POMPAGES AGRICOLES: ÉPISODE DE GEL PRINTANIER (AVRIL 2017)

Pour faire face au risque de gelées printanières (i.e. gelées noires) affectant l'arboriculture et la viticulture dans la plaine du Rhône, les agriculteurs recourent de longue date à des systèmes d'irrigation par aspersion. Ces systèmes sont dans la majeure partie des cas directement alimentés par la nappe phréatique au moyen de puits de pompage. Suite à un important épisode de gel survenu en avril 2017, une analyse rétroactive de l'effet de ces systèmes d'irrigation sur la nappe phréatique a été conduite à la demande du SEN. Des cartes piézométriques ont ainsi été réalisées par le CREALP pour les périodes avant et pendant mise en service des pompes. L'analyse comparative de ces cartes permet de mettre en évidence un rabattement significatif de la nappe phréatique dans les régions les plus exposées au risque de gel et où la lutte par aspersion était la plus active (par exemple jusqu'à 1,5 m dans la

région de Charrat-Martigny entre les kms 10 et 12: *fig. 8*). Dans l'optique d'assurer une pratique agricole en adéquation avec les exigences de protection des nappes phréatiques, cet exemple illustre l'intérêt de disposer d'outils permettant d'apprécier les effets de ce type d'usage de l'eau. Ces effets, si non correctement anticipés, peuvent être à l'origine de nombreux problèmes comme une baisse de la production d'autres puits (captages d'alimentation en eau potable, captages pour l'exploitation thermique de la nappe phréatique, etc.), de possibles phénomènes de tassement ou encore de la dégradation de la qualité des eaux souterraines par remobilisation de substances polluantes issues de terrains ou de sites contaminés.

PHÉNOMÈNE DE REMONTÉES DE NAPPE PHRÉATIQUE (ÉTÉ 2019)

En juin-juillet 2019, différentes régions de la plaine du Rhône en Valais central et Haut-Valais fait face à des remontées de nappe susceptibles d'occasionner des inondations localisées et des atteintes.

Cette remontée significative des niveaux de la nappe est directement imputable à deux crues successives du Rhône respectivement celle du 10-11 juin 2019 suite à un épisode orageux puis celle de début juillet 2019 liée à d'importants apports de fonte consécutivement à deux semaines de canicule.

La cartographie de l'effet de ces crues sur la nappe phréatique a mis en évidence une augmentation significative des niveaux de nappe, notamment à proximité du Rhône, qui pouvaient localement être supérieurs d'un mètre à la surface de référence du mois de juillet calculée pour la période 1976-2017 (*fig. 9*). De telles remontées subites de nappe peuvent mettre en danger des installations et activités existantes et altérer la qualité des eaux souterraines dans l'éventualité d'une mobilisation et/ou migration de substances polluantes depuis la zone non saturée. La gestion du risque lié à ces phénomènes bénéficie d'un recours à des plans de surveillance optimisés qui intègrent des schémas d'action concertés.

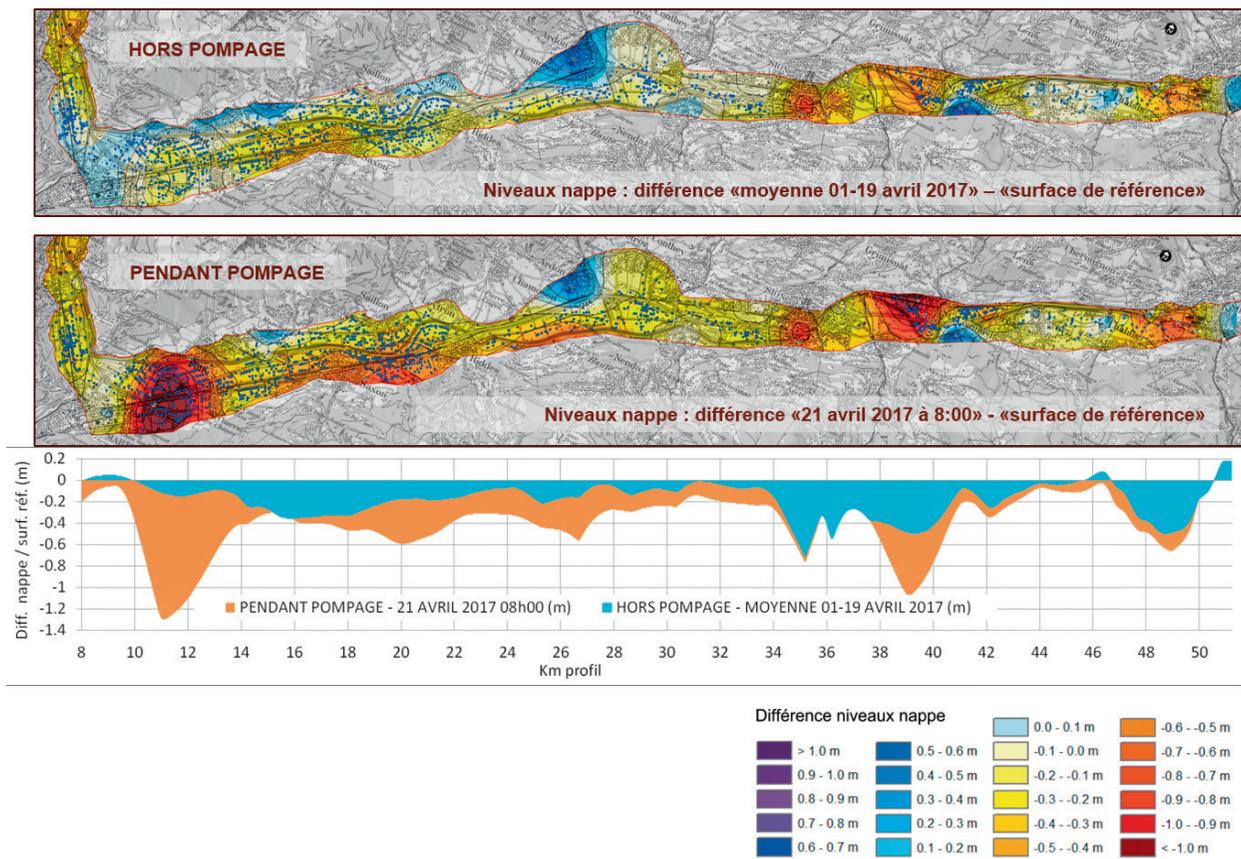


Fig. 8 Différence en mètres entre les niveaux d'avril 2017 et la surface de référence du mois d'avril pour la période 1976-2017. Ces cartes mettent en évidence l'effet des pompages agricoles sur les niveaux de la nappe consécutif à leur mise en service pour l'irrigation par aspersion lors d'un épisode de gel printanier.

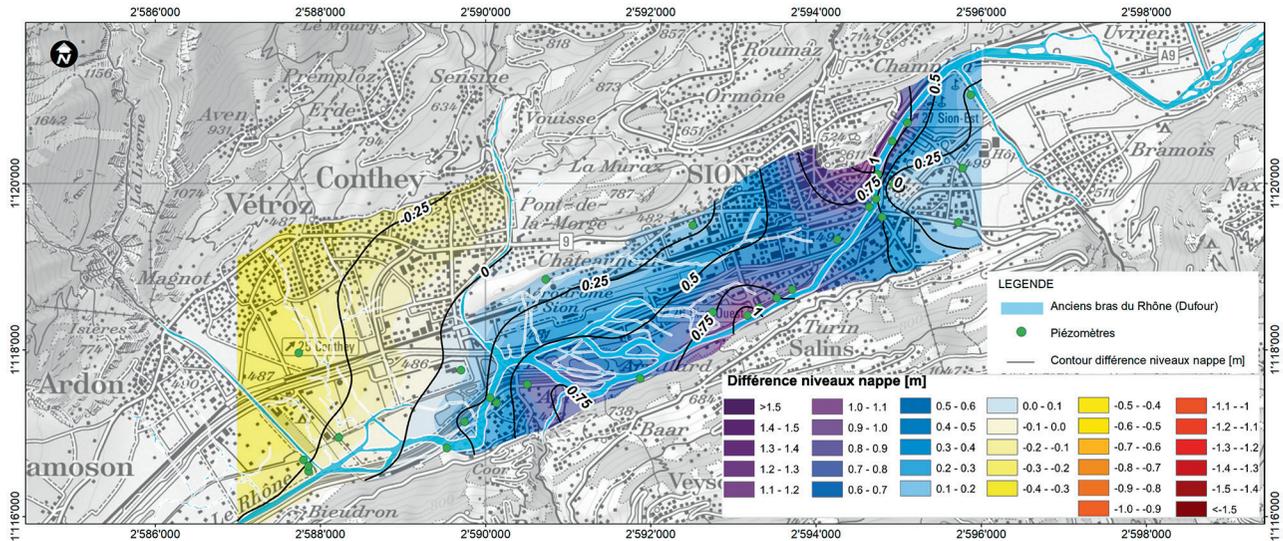


Fig. 9 Différence en mètres entre la piézométrie du 4 juillet 2019 et la surface de référence du mois de juillet pour la période 1976–2017. Cette carte met en évidence l'effet des crues du Rhône de juin et juillet 2019 sur les niveaux de la nappe dans la région de Sion. Les anciens bras du Rhône tirés de la carte Dufour sont représentés pour orientation.

CONCLUSION

Depuis 2018, un ambitieux travail de cartographie de la piézométrie de la nappe phréatique de la plaine du Rhône a été initié par le Canton du Valais sous l'impulsion conjointe du SEN et du CREALP. Ce travail a permis de se doter de cartes de références établies sur la base de moyennes mensuelles calculées sur la période 1976–2017. Ces cartes sont directement intégrées au processus de calcul géostatistique (Krigage avec Dérive Externe, KDE) mis en œuvre pour la production de nouveaux jeux de cartes (p.ex. catalogues annuels, cartographie de situations hydrologiques particulières d'origines naturelles ou anthropiques) basés sur les observations fournies en temps réel par les réseaux de surveillance de la nappe phréatique de la plaine du Rhône.

L'exploitation des cartes de référence permet en outre le calcul de nombreux produits dérivés parmi lesquels on peut citer les cartes de l'épaisseur de la zone non saturée, du battement saisonnier, du régime d'écoulement ou encore de la saisonnalité des eaux souterraines. L'ensemble de ces produits participe à une meilleure compréhension et connaissance du fonctionnement de la nappe phréatique de la plaine du Rhône. Ils fournissent par ailleurs les données de base indispensables à la conduite des projets de construction et

d'aménagement du territoire ainsi qu'aux tâches de gestion et de protection de la nappe phréatique du Rhône.

Une première étape de ce projet a été réalisée avec l'élaboration des cartes relatives à la région Valais central (secteur Sierre-Évionnaz). Les cartes relatives au Bas-Valais et au Haut-Valais sont en cours de production de manière à couvrir quasiment l'intégralité de la plaine du Rhône entre Brig et le Léman.

Ce travail assure un retour sur les efforts et les investissements fournis par le Canton du Valais depuis plus de 25 ans en matière de surveillance des eaux souterraines depuis la modernisation et l'optimisation des réseaux de mesure jusqu'à la gestion et la diffusion des données. Ces efforts devraient trouver une nouvelle concrétisation avec l'implémentation du futur système d'information sur les eaux souterraines STRATES-VS qui offrira une plateforme moderne pour la diffusion et l'exploitation de ces cartes et qui permettra l'unification des applications existantes dédiées aux eaux souterraines du canton du Valais (portail web HYDRO: <https://wolga.crealp.ch/wolga/>, STRATES-Viewer: <https://strates.crealp.ch/>) et au sous-sol (portail Geocadast: <https://geocadast.crealp.ch/>).

BIBLIOGRAPHIE

[1] Besson, O. et al. (1993): *Bulletin du Centre d'Hydrogéologie (Université de Neuchâtel)* 12: 39–58

[2] Sonney, R. et al. (2020): *Géothermoval II. Potentiel géothermique des conduits à perméabilité élevée à la base de la vallée du Rhône. Aqua & Gas* 6/2020: 58–64

[3] Engelen, G.-B.; Kloosterman, F.-H. (1996). *REGIS-PRO, a Geohydrological Information System. In: Hydrological Systems Analysis. Water Science and Technology Library, vol. 20. Springer, Dordrecht: 14–16*

[4] *Geovariances & École des Mines de Paris (2002): Isatis Software Manual, 4th Edition. 645 pp.*

[5] BRGM (2018): *Étude méthodologique pour l'amélioration de la cartographie de sensibilité aux remontées de nappes et réalisation d'une carte nationale. BRGM/RP-65462-FR, 116 pp.*

[6] Chilès, J.-P. (1991). *Sciences de la Terre, Série Informatique* 30: 131–147

> FORTSETZUNG DER ZUSAMMENFASSUNG

für Praktiker bestimmt sind, tragen diese Karten direkt zu den Planungsaufgaben der Kommunen und Kantone bei und gewährleisten eine bessere Wahrnehmung und Berücksichtigung von Problemen des Grundwassers und verschiedener damit verbundener Risiken.