

L'ÉVACUATION DES EAUX DE RUISSELLEMENT

OPTIMISATION PAR GESTION DYNAMIQUE DES RÉSEAUX D'ÉVACUATION EN TEMPS RÉEL

L'évacuation et le traitement des eaux de ruissellement est un défi majeur dans la gestion des réseaux unitaires, particulièrement dans les années à venir. En effet, les villes développent une croissance des surfaces imperméables, alors qu'une intensification des précipitations est observée en raison du dérèglement climatique. La gestion dynamique des réseaux en temps réel permet de proposer un élément de réponse face à ces défis futurs. En optimisant la régulation des ouvrages du réseau unitaire existant grâce aux prévisions radar, les rejets à l'environnement peuvent être réduits significativement sans nécessiter de travaux de génie civil conséquents.

Bertil Décosterd; Giovanni De Cesare, LCH-EPFL

Frédéric Jordan, Hydrique Ingénieurs; Florian Cote; Jean-Claude Prost, Veolia Eau France*

ZUSAMMENFASSUNG

OPTIMIERUNG DES ABFLUSSES VON NIEDERSCHLAGSWASSER DURCH DYNAMISCHE BEWIRTSCHAFTUNG

Der Überlauf von Niederschlagsabwasser in die Umwelt ist ein zentrales Problem bei der Bewirtschaftung von Mischwasserkanalisationen. Um dieses anzugehen, wird in St-Chamond (Frankreich) bereits ein Echtzeit-Überwachungssystem für die Bewirtschaftung des Mischwasserkanalsystems eingesetzt. Die Besonderheit dieses Systems besteht darin, dass es mithilfe von Radar-Echtzeitprognosen die beiden folgenden Ziele erreicht: die Aktivierung der Regenwasseraufbereitungsanlage der Kläranlage durch ein Alarmsystem vorherzusehen und die Rückhaltung des Terrenoire-Becken durch einen ständig aktualisierten Abflusssollwert zu optimieren.

In einem ersten Schritt konnte durch die Verbesserung des Alarmsystems der Kläranlage, das ursprünglich eine Trefferquote von 63% und eine Fehlalarmquote von 26% aufwies, ein Wert von 50% bzw. 8% erreicht werden. Die ehemals manuelle Aktivierung der Regenwasserbehandlungsanlage wurde durch eine vollständige Automation ersetzt.

In einem zweiten Schritt wurde die Wasserrückhaltung optimiert: Zuerst wurde der Algorithmus verbessert, der zur Bestimmung des Sollwertes für den Abfluss des Terrenoire-Beckens dient. Damit

INTRODUCTION

La pollution des eaux provient principalement de trois sources: les eaux usées domestiques et industrielles, les eaux de ruissellement ainsi que l'agriculture. Dans les réseaux d'évacuation unitaires, l'eau usée est mélangée à l'eau de ruissellement, ce qui provoque des émissions d'eau usée dans le milieu récepteur (eaux de surface) lors des événements pluvieux. En effet, la capacité hydraulique du réseau unitaire ainsi que la capacité de traitement de la STEP étant limitées, des ouvrages de décharge (déversoirs d'orage ou DO) sont installés sur le réseau, qui rejettent l'écoulement excédentaire directement dans le milieu. Des bassins d'orage (BO) complètent parfois le dispositif, permettant de stocker temporairement une partie de l'écoulement afin de couper les pointes de débit et réduire les rejets pollués. De manière générale, plus le volume de rétention à disposition dans les BO est important, plus le volume de traitement est élevé, réduisant d'autant les rejets pollués au milieu récepteur. Toutefois, la rétention coûte très cher en génie civil et peut être difficile à réaliser en milieu urbain. Dans ce contexte, la gestion dynamique des ouvrages existants, basée sur des prévisions d'écoulement dans le réseau et les ouvrages, permet d'optimiser la réten-

* Contact: fred.jordan@hydrique.ch

(Photo: ©gastas/123RF.com)

tion pour chaque événement pluvieux. Elle permet ainsi d'exploiter les infrastructures existantes de manière optimale [1-4]. Une telle gestion est développée par *Veolia Keyhops* et *Hydrique Ingénieurs* pour l'exploitation du réseau d'égouts unitaire de St-Chamond, ville de 36 000 habitants environ, située dans la région de Lyon en France. Les objectifs de la gestion dynamique développée à St-Chamond, appelée GPR, sont les suivants:

- Automatiser l'enclenchement de la filière pluviale de la STEP de manière anticipée. Cette filière, qui complète la filière temps sec, est activée lorsque les apports à la STEP sont trop importants, lors des événements pluvieux. L'enclenchement anticipé de la filière pluviale permet alors d'améliorer l'efficacité de traitement de l'eau en début d'événement. Une anticipation de 30 à 90 minutes est idéale et constitue l'objectif d'évaluation du système.
- Optimiser la rétention du BO de Terrenoire pour minimiser les rejets totaux sur le réseau et en entrée de STEP. En effet, une consigne de vanne automatisée du BO était déjà appliquée avant

ce projet. Toutefois, cette dernière ne prenait en compte ni les prévisions de débit, ni les informations en aval de l'ouvrage. Le nouvel algorithme doit alors considérer de telles informations, avec l'objectif de maximiser le taux de charge des conduites aval tout en limitant les rejets aux DO situés entre le BO et la STEP.

LE RESEAU D'EVACUATION DE ST-CHAMOND

La ville de St-Chamond se trouve dans la Loire, à 50km au sud-ouest de Lyon, en France. La ville, traversée par le cours d'eau du Gier, souvent souterrain, recense 36 000 habitants. Les précipitations moyennes sont de 665 mm/an, mais elles ont déjà atteint 140 mm/24h [5]. L'activité industrielle y est importante. 71% de la surface du bassin versant urbain (12,6 km²) est imperméabilisée, et le taux de séparatif est de l'ordre de 45%. La STEP de St-Chamond a une capacité nominale de 65 000 EH. Sa filière temps sec fonctionne à 1500 m³/h et sa filière pluviale à 8500 m³/s, soit une capacité to-

tales de traitement de 10 000 m³/h lors des précipitations.

Le réseau d'évacuation unitaire comporte plusieurs ouvrages de régulation et de décharge, dont les principaux sont les suivants (fig. 1):

- le BO de Terrenoire, d'une capacité de 1770 m³ et équipé d'un seuil fixe de déversement construit à une hauteur de 1,63 m. Le remplissage et la vidange sont régulés en temps réel par une vanne à clapet qui reçoit une consigne de débit maximum en sortie, déterminée toutes les dix minutes. Le débit maximum possible vers le réseau aval est de 200 l/s. La régulation «historique» visait l'optimisation du volume de rétention en fonction du débit entrant dans le BO et de la précipitation observée.
- Le DO Wilson, déversoir latéral dont le débit est limité à 180 l/s. Il se trouve à l'aval du BO Terrenoire et d'un tronçon de collecteur dont la capacité est limitée à 250 l/s. Le débit sortant du BO Terrenoire transite par le DO Wilson.
- De nombreux autres DO situés sur des branches parallèles du réseau, mais

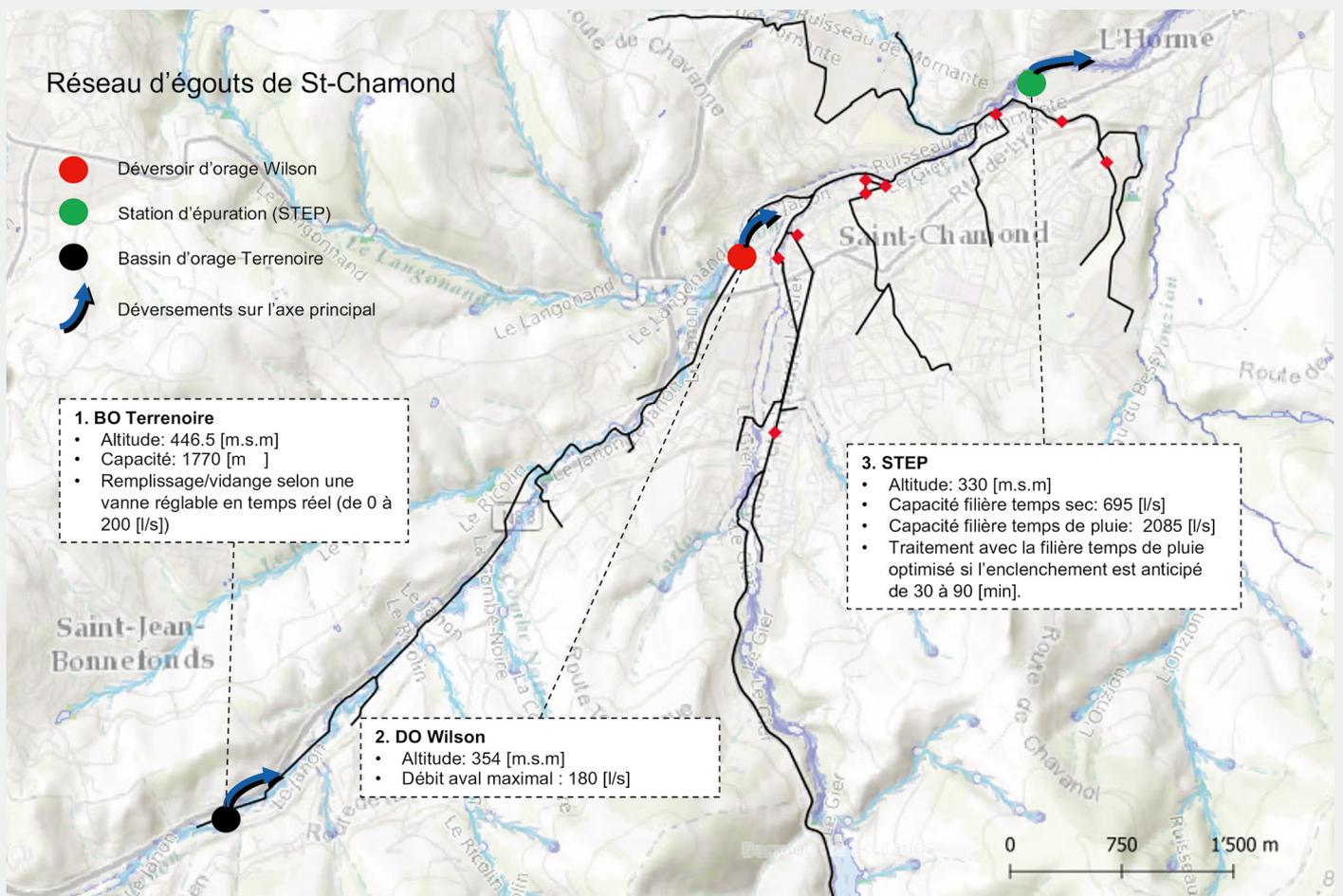


Fig. 1 Réseau d'égout de St-Chamond et ses trois ouvrages sur l'axe principal.

non impactés par la régulation du BO Terrenoire. En particulier, le DO Lafayette est situé juste en amont de la STEP, sur un réseau affluent.

- La STEP, avec ses deux filières temps sec et pluviale. La filière temps sec fonctionne en continu (traitement biologique), alors que la filière pluviale démarre à partir d'un débit entrant de 6951/s (traitement lamellaire, système

Densadeg). Le fonctionnement de cette dernière est optimisé lorsque son enclenchement est anticipé de 30 à 90 minutes.

Le milieu récepteur est constitué par le Gier, cours d'eau piscicole prenant sa source au Pilat (1300 m.s.m.) et se jetant dans le Rhône à Givors. Son bassin versant est de 403 km² à Givors. Le barrage

de Soulage, situé à l'amont de St-Chamond, libère un débit d'étiage estival de 3001/s qui doit diluer les rejets du réseau unitaire de l'agglomération.

LE JUMENT NUMÉRIQUE POUR LA GESTION DYNAMIQUE

La gestion dynamique du réseau est basée sur le concept de jumeau numérique. Le principe est de créer un doublon numérique d'un objet, dans le cas présent du réseau d'évacuation des eaux et de son bassin versant. Ce doublon numérique doit en reproduire les processus, évoluer dans le temps et être connecté en temps réel à son objet grâce à des capteurs. Ainsi, le jumeau numérique est une maquette virtuelle de l'objet réel, qui doit en tout temps correspondre à son état. Grâce à cette qualité, le jumeau numérique devient une entité sur laquelle de nombreuses opérations peuvent être menées sans risque: extraction d'informations, test de scénarios, analyse d'événements passés, prévision en temps réel, et bien sûr gestion dynamique.

Le jumeau numérique effectue les simulations en continu dans le cloud, alimenté par différentes sources de données, dont la supervision de l'exploitant du réseau. Les consignes d'exploitation et alarmes sont envoyées vers la supervision et contrôlent automatiquement la régulation des ouvrages (fig. 2).

Le jumeau numérique [4] est basé sur le modèle de simulation pluie-débit hydrodynamique *Routing System* (RS), initialement conçu à l'EPFL [6, 7] et développé par *Hydrique Ingénieurs*. Son module RS URBAN [7, 8], développé spécifiquement pour les zones urbaines, modélise les bassins versants et leur apport en eau dans le réseau selon un concept fonctionnel (fig. 3).

Dans ce modèle, les données d'entrée sont les précipitations et températures, interpolées spatialement en fonction de la configuration locale. Le coefficient de ruissellement permet ensuite de distinguer les surfaces perméables des surfaces imperméables. Les surfaces perméables produisent de l'infiltration et éventuellement du ruissellement (non pollué), tandis que les surfaces imperméables produisent l'eau de ruissellement considérée comme polluée. Une partie de l'eau de ruissellement (ER) s'écoule dans le réseau unitaire en fonction du taux de séparatif, alors que l'eau claire parasite (ECP) est issue de l'infiltration et fonction d'un pa-

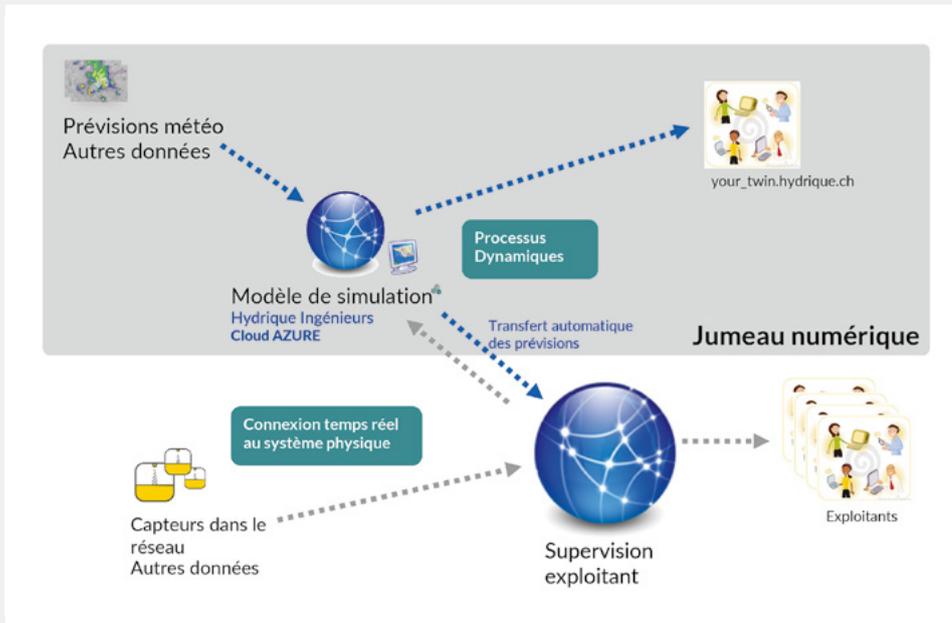


Fig. 2 Interconnexion du jumeau numérique avec l'instrumentation et la supervision de l'exploitant. Exemple de la solution GPR développée par Veolia Keyhops et Hydrique Ingénieurs.

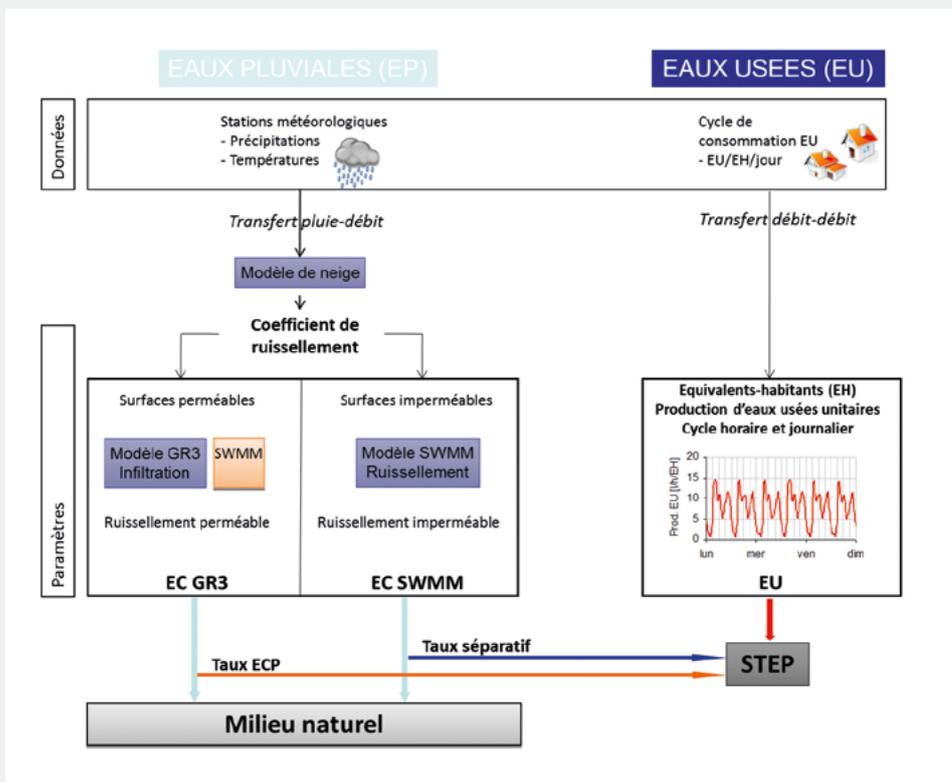


Fig. 3 Concept de modélisation des bassins versants urbains avec RS URBAN.

ramètre de calage (TauxECP). L'eau usée domestique et industrielle est définie selon un cycle de consommation horaire et journalier, modulé par le nombre d'équivalent-habitants (EH). L'écoulement dans le réseau unitaire est la somme de l'eau usée domestique et industrielle, de l'ECP et de l'eau de ruissellement.

Le calcul de la charge polluante est aussi réalisé, permettant un bilan des flux de matières en suspension (MES) et d'ammonium (NH₄⁺). Les MES sont générées par le bassin versant en considérant une accumulation linéaire par temps sec et une érosion lors des précipitations, basée sur le concept de la tension de frottement. Les MES générées par les eaux usées sont admises à concentration constante. Trois sources d'ammonium sont ainsi considérées: les habitants (cycle horaire), l'industrie (concentration constante) et l'eau de ruissellement (concentration constante).

MÉTHODOLOGIE

La méthodologie suivie se base sur plusieurs étapes de développement et de vérification du système. Les détails des principales étapes réalisées dans ce projet sont présentés ci-dessous:

1. Construction du modèle de simulation RS URBAN et calage. Utilisation de données météorologiques (1 pluviomètre, résolution 10 min) et premier calage sur deux objectifs: le débit total entrant à la STEP et le niveau dans le BO Terrenoire. Ce premier calage est ensuite amélioré grâce à de nouvelles données issues du diagnostic permanent, en particulier les mesures des hauteurs de déversement sur 10 DO instrumentés. Ainsi, un compromis entre débit à Terrenoire, à la STEP et fréquence des déversements sur les DO conduit au modèle opérationnel. La période maximale de calage possible est de 24 mois. Aucune validation indépendante n'est menée en raison de la trop courte période disponible.
2. Développement de l'algorithme d'enclenchement automatique de la filière pluviale de la STEP. Premiers essais basés sur la simulation pluie-débits (données observées au pluviomètre). Optimisation de l'algorithme par une procédure itérative de hindcast (reproduction des prévisions opérationnelles) utilisant la prévision INCA de MétéoSuisse (*Integrated Nowcasting*

through Comprehensive Analysis, [9]). Evaluation de performance selon les indicateurs de taux de détection (PoD) et taux de fausse alarme (FAR). Période de calage de 18 mois, période de vérification de 4 mois.

3. Développement de l'algorithme d'optimisation de la régulation du BO Terrenoire. Test simultané de nombreuses variantes d'algorithme, avec variation de plusieurs seuils de décision (critère de début de rétention, critère de vidange). Algorithme basé sur des critères fixes, évalués à partir des prévisions d'apport au BO, de réserve de capacité en amont du DO Wilson, et de réserve de capacité de la filière pluviale à la STEP. Optimisation de l'algorithme par une procédure de hindcast INCA et en prévision parfaite (évaluation du potentiel maximum du système). Evaluation de la performance sur le critère

de minimisation des rejets hydriques totaux dans le Gier.

4. Evaluation de l'influence du réhaussement de deux DO sur le système optimisé, par procédure de hindcast et évaluation sur le critère de minimisation des rejets hydriques totaux.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

ENCLÈCHEMENT ANTICIPÉ DE LA FILIÈRE PLUVIALE DE LA STEP

L'objectif d'automatisation de l'enclenchement de la filière pluviale de la STEP est atteint si le taux de fausse alarme (FAR) est inférieur à 10%, pour autant que la probabilité de détection soit significative. En effet, chaque fausse alarme conduit au remplissage du bassin de traitement spécifique, qui doit ensuite être nettoyé, engendrant des coûts d'exploitation non négligeables.

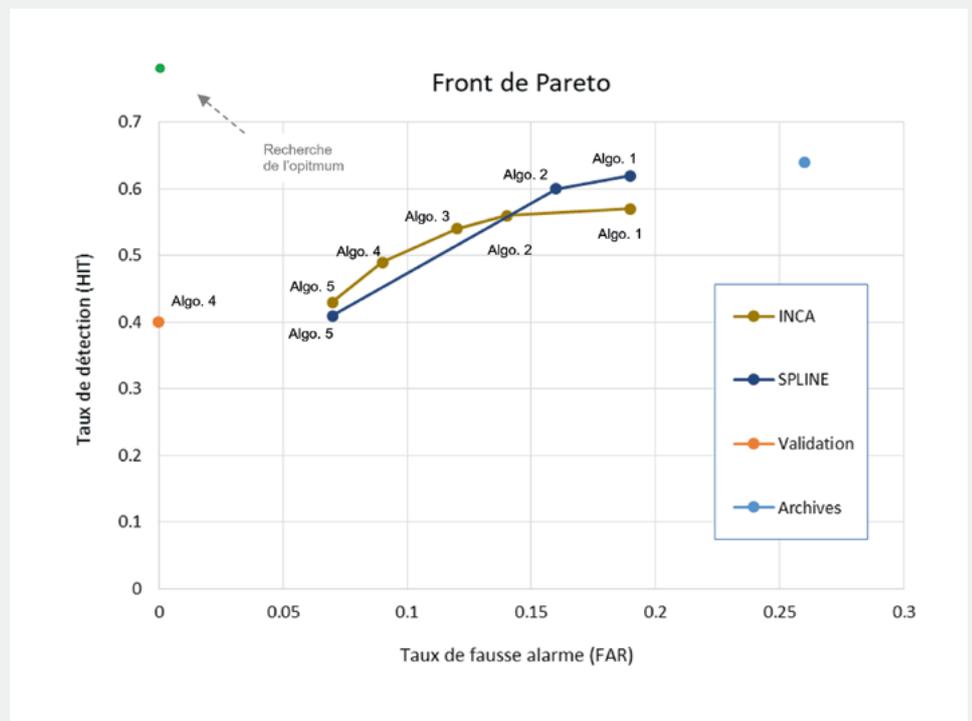


Fig. 4 Front de Pareto des différents algorithmes d'enclenchement. Le point bleu est la performance de l'algorithme effectivement observée en 2020.

Algo.	Condition sur le signal	Condition sur les mesures
Base	3 signaux 200 de suite	
1	3 signaux 200 de suite	moyenne (Q _{t0} , Q _{t-1} et Q _{t-2}) ≥ 0,28 [m ³ /s]
2	3 signaux 200 de suite	moyenne (Q _{t0} et Q _{t-1}) ≥ moyenne (Q _{t-2} et Q _{t-3})
3	2 signaux 200 de suite	moyenne (Q _{t0} et Q _{t-1}) ≥ moyenne (Q _{t-2} et Q _{t-3})
4	2 signaux 200 de suite	moyenne (Q _{t0} et Q _{t-1}) ≥ Q _{t-2}
5	2 signaux 200 de suite	moyenne (Q _{t0} et Q _{t-1}) ≥ 1,1 Q _{t-2}

Tab. 1 Description des algorithmes d'enclenchement. Q_{t0}, Q_{t-1}, Q_{t-2} et Q_{t-3} sont les mesures du débit à la STEP au moment du calcul des prévisions INCA, puis 10, 20 et 30 minutes avant.

Lors d'une période de test, le système a présenté une performance insuffisante, avec un taux de fausse alerte de 26% et une probabilité de détection de 65% sur

12 mois, sur un total de 20 événements observés.

Pour améliorer le système, des algorithmes prenant en compte non seulement les prévisions de débit, mais aussi les observations de débit à la STEP dans les 30 dernières minutes, ainsi que les alertes antécédentes, sont testés (tab. 1). Les algorithmes 1 et 2 évaluent la condition sur les mesures après trois signaux d'alerte (200) successifs, alors que les algorithmes 3 à 5 l'évaluent après deux signaux. De plus, les algorithmes 2 et 3 considèrent les mesures dans les 30 dernières minutes, les autres dans les 20 dernières minutes.

La figure 4 illustre la performance des algorithmes décrits dans le tableau 1, appliqués selon deux modèles de prévision: INCA et SPLINE (extrapolation mathématique de la mesure de précipitation, sans donnée radar). La performance de l'algorithme initial (Archives) et celle de l'algorithme 4 sur la période de validation (Validation) est également présentée. Les prévisions SPLINE permettent un meilleur taux de détection (jusqu'à 62%) pour un taux de fausse alarme de 20%. Toutefois, elles ne permettent pas une bonne performance des algorithmes 3 et 4, contrairement aux prévisions INCA. L'algorithme 4 est finalement retenu, étant le plus proche de l'optimum théorique. Sa performance garantit un taux de fausse alarme inférieur à 10%, pour une probabilité de détection de 50%. Cet algorithme permet ainsi de tempérer l'enclenchement automatique de la filière qui ne s'active que si le contexte est favorable.

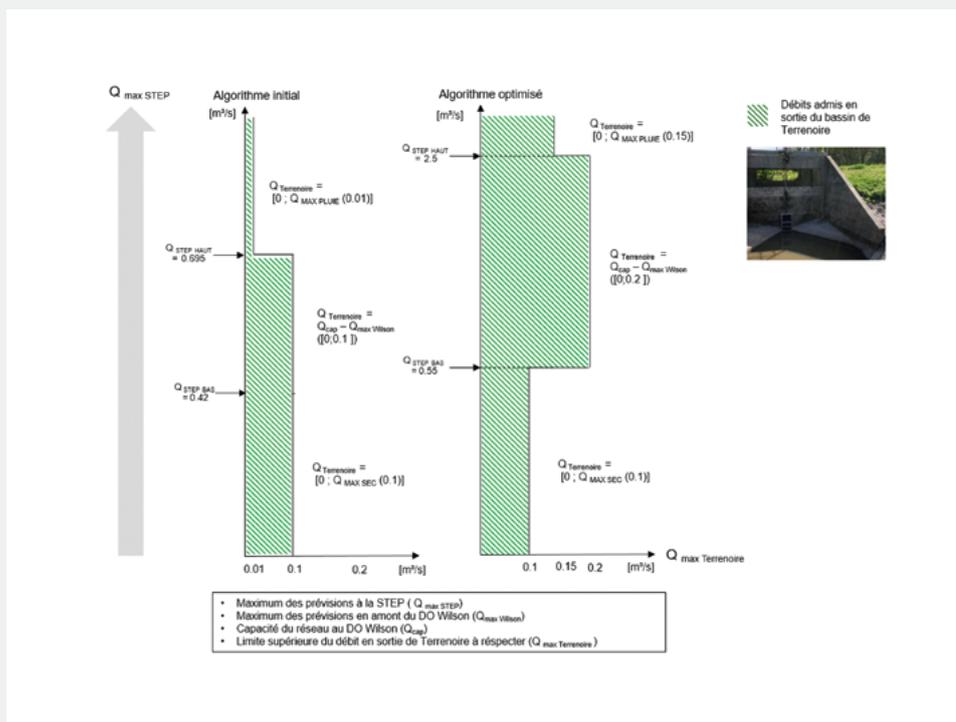


Fig. 5 Consigne de débit admis en sortie du BO Terrenoire en fonction des prévisions des débits dans le réseau: algorithme initial (gauche) et optimisé (droite).

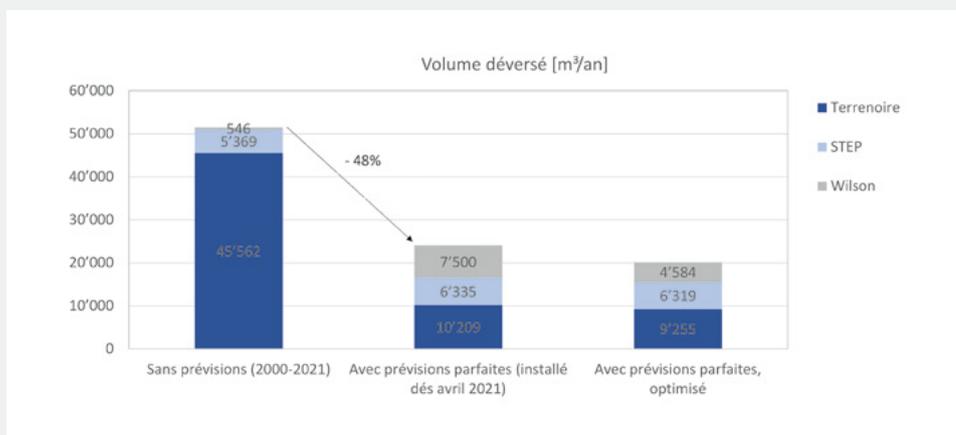


Fig. 6 Volume déversé sur l'axe principal du réseau avec et sans prévisions parfaites.

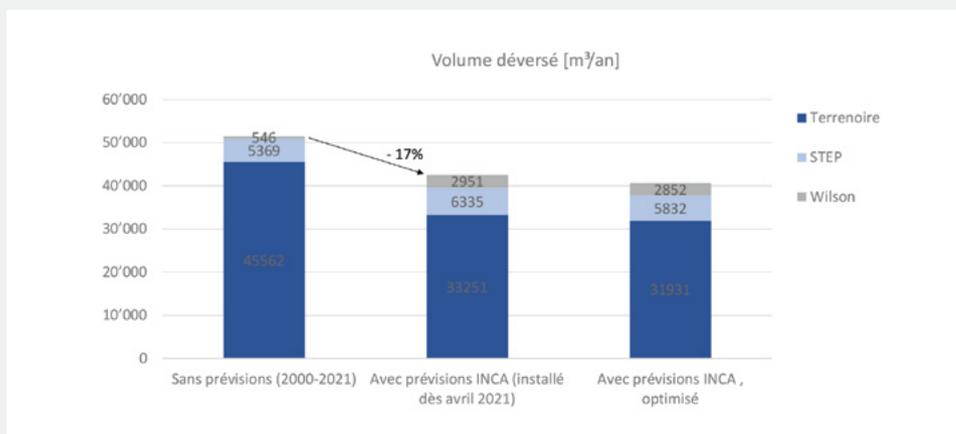


Fig. 7 Volume déversé sur l'axe principal du réseau avec et sans prévisions réelles (INCA).

OPTIMISATION DE LA RÉTENTION AU BASSIN D'ORAGE TERRENOIRE

La régulation du BO Terrenoire se faisait initialement par une consigne d'ouverture de vanne actualisée toutes les dix minutes. La règle initiale, utilisée avant 2020, fixait l'ouverture de la vanne à 30% par défaut et à 45% en temps de pluie ou si le bassin atteignait une hauteur de 1,3 m. Cette consigne ne considérait ni information prévisionnelle, ni information sur les débits à l'aval du BO.

En 2020, un premier algorithme est implémenté sur la base du jugement d'expert. L'algorithme considère non seulement la prévision d'apport à la STEP dans les prochaines 60 minutes, mais aussi le débit prévu dans la conduite en amont du DO Wilson, dont la capacité est limitée (fig. 5). Le principe est que le débit sortant

du BO est limité à 0,1 m³/s lorsque le débit maximum prévu à la STEP n'excède pas un premier seuil. Le débit sortant du BO est ensuite fortement limité si l'apport à la STEP augmente et dépasse 0,695 m³/s. La capacité du réseau au DO Wilson est alors considérée à 0,1 m³/s.

L'algorithme optimisé conserve la première limitation à 0,1 m³/s. Toutefois, lorsque le débit maximum prévu à la STEP dépasse 0,55 m³/s, le débit sortant du BO peut atteindre la réserve de capacité prévue dans la conduite, mais au maximum 0,2 m³/s. Lorsque le débit maximum prévu à la STEP atteint 2,5 m³/s, le débit sortant du BO est à nouveau restreint. La capacité du réseau au DO Wilson est maintenant considérée à 0,2 m³/s.

L'algorithme optimisé permet ainsi une meilleure utilisation du volume de rétention à disposition, en réduisant la réserve de capacité du réseau en aval. La *figure 6* illustre l'influence des différents algorithmes sur les volumes déversés sur une année au BO Terrenoire, à la STEP et au DO Wilson pour les trois algorithmes présentés, en situation de prévision parfaite (situation historique jusqu'à 2020). 50 000 m³ sont déversés au total selon la configuration «historique». Les prévisions parfaites permettent, avec l'algorithme initial (2020), de diminuer ce volume de 48%, pour un total de 24 000 m³. Finalement, l'algorithme optimisé permet limiter encore le volume déversé à 20 000 m³. La *figure 7* montre que l'incertitude des prévisions réelles impacte négativement la performance du système et ne permet de diminuer effectivement que de 17% le volume total déversé avec l'algorithme

initial (2020), et de 19% avec l'algorithme optimisé. Les rejets totaux représentant ainsi le double de ce que permettraient d'obtenir les prévisions parfaites. On observe à travers cette analyse que l'incertitude des prévisions réelles impose une limite à l'optimisation. Toutefois, le potentiel du système à moyen terme est très intéressant, mais nécessite une amélioration des prévisions réelles.

INFLUENCE DE NOUVEAUX AMÉNAGEMENTS CONSTRUCTIFS LÉGERS

Deux propositions de modifications légères d'infrastructures existantes sont présentées, issues d'observations faites lors de la mise au point du système (*fig. 8*). La première vise à augmenter la capacité de rétention du BO Terrenoire en surélevant de 20 cm le seuil de déversement. Le BO, ne se remplissant jamais jusqu'à sa pleine capacité, libère un volume inutilisé excessif. Il s'agit alors de tester cette surélévation par une simple poutre métallique.

La deuxième proposition vise à diminuer les rejets au DO Lafayette en surélevant le déversoir frontal, afin de réduire la fréquence des déversements au Gier et augmenter le volume d'eau acheminé à la STEP. En effet, l'analyse comparative des données de diagnostic permanent a montré que la fréquence des déversements au DO Lafayette est largement supérieure à celle de la STEP, située juste en aval du DO. Il s'agit alors de tester une augmentation du débit vers la STEP de 100 l/s à 200 l/s, qu'il est possible d'obtenir par un rehaussement du seuil frontal de 10 cm. La *figure 9* illustre la réduction des vo-

lumes déversés avec une ou deux propositions considérées. Le rehaussement de la hauteur maximale du BO Terrenoire permet localement une diminution du volume déversé de 30% (17 241 m³/an). Comme le débit libéré du bassin d'orage est augmenté, le volume déversé à l'aval au DO Wilson augmente de 15% (71 m³/an). Toutefois, le bilan global est largement positif, avec une diminution de 9% des volumes déversés sur l'ensemble du réseau.

Le deuxième aménagement permet d'acheminer plus d'eau à la STEP grâce à la diminution de 60% (10 265 m³/an) du volume déversé au DO Lafayette. En contrepartie, une augmentation de 4% (317 m³/an) est constatée à la STEP. Finalement, les deux aménagements combinés permettent de réduire de 14% (27 187 m³/an) le volume rejeté sur l'ensemble du réseau. Cette analyse démontre l'intérêt du jumeau numérique, non seulement pour la gestion dynamique, mais aussi pour la découverte et l'évaluation aisée de propositions d'amélioration du système.

ANALYSE DES CHARGES POLLUTIVES REJETÉES AU MILIEU NATUREL

Finalement, le jumeau numérique est valorisé pour l'estimation des émissions au milieu récepteur. Le *tableau 2* synthétise la diminution des rejets annuels de MES et d'ammonium selon les différents scénarios testés. L'utilisation des prévisions INCA dans la gestion du BO Terrenoire doit être combinée à un algorithme optimisé pour aboutir à une réduction des émissions, atteignant 20% de réduction des rejets de MES et 31% des rejets d'am-



Fig. 8 Photographies du seuil fixe de déversement du BO Terrenoire et du DO Lafayette. En rouge les aménagements proposés.

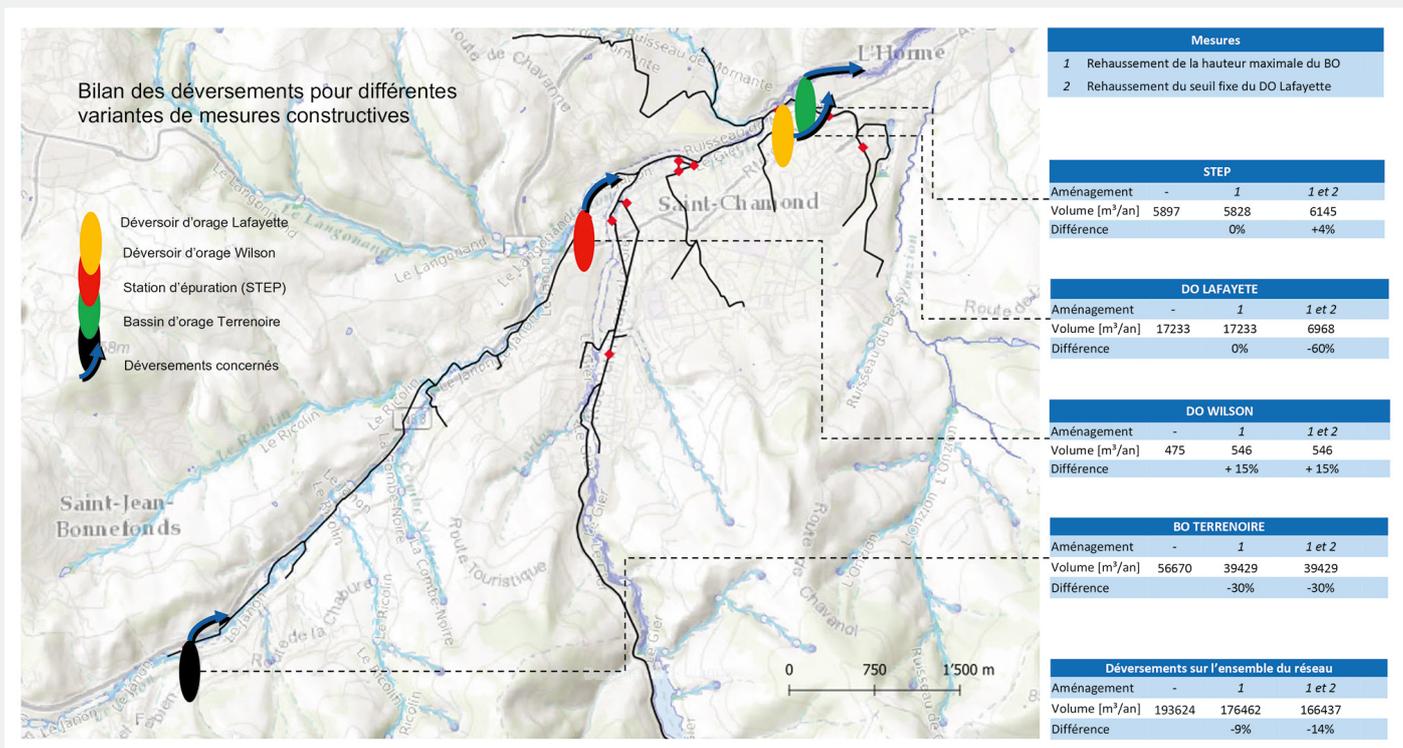


Fig. 9 Bilan des volumes déversés au milieu récepteur selon deux propositions d'aménagements constructifs.

monium. De plus, la combinaison gestion dynamique temps réel et aménagements constructifs permet de réduire de 21 % les rejets de MES et de 34 % les rejets d'ammonium, soit une légère amélioration supplémentaire. Pour comparaison, la rétention à la source, qui limiterait par hypothèse le débit d'eau de ruissellement à 20l/s, permettrait une diminution selon les simulations de seulement 4 à 6 % environ.

SYNTHÈSE ET PERSPECTIVES

La réduction des déversements en milieu naturel est l'un des principaux défis de l'exploitation des réseaux d'égouts unitaires. En effet, le surdimensionnement du réseau ou la rétention à la source ne sont que très rarement possible à moyen terme. Néanmoins, une solution peu coûteuse mais très efficace est offerte par la gestion dynamique temps réel des

ouvrages, basée sur les prévisions nowcasting, telle qu'implémentée dans le réseau d'égouts de St-Chamond.

Dans cet exemple, la réduction des rejets non traités au milieu récepteur est obtenue par une combinaison de trois solutions: automatiser le système d'enclenchement de la STEP, optimiser la rétention au BO Terrenoire, et améliorer les infrastructures existantes par des mesures constructives légères.

Les trois principaux résultats obtenus sont les suivants:

- L'automatisation de l'enclenchement de la filière pluviale de la STEP a été atteinte, grâce à la prévision nowcasting INCA et le développement d'un algorithme considérant la prévision et la mesure temps réel du débit à la STEP. Cet algorithme permet de tempérer l'enclenchement anticipé qui ne s'active que si le contexte est favorable. L'objectif du taux de fausse alarme de

10% est atteint, tout en conservant un taux de détection suffisant.

- La régulation en temps réel du BO Terrenoire a été largement améliorée grâce aux prévisions INCA et au développement d'un algorithme d'optimisation considérant les débits au BO, sur le réseau et à la STEP. Ce système protège en partie le milieu naturel grâce à une réduction des déversements totaux de 17 %, et à une réduction des émissions MES de 20 % et de N-NH₄ de 34 %.
- L'amélioration des infrastructures existantes permettrait à très bas prix de réduire de 4 % supplémentaires le volume rejeté sur l'ensemble du réseau.

Malgré ces résultats encourageants, des améliorations supplémentaires sont possibles. Pour améliorer la performance du système d'enclenchement de la STEP, une piste est l'installation de mesures temps réel de débit supplémentaires en amont, permettant d'évaluer plus précisément les écoulements réels dans le réseau en début d'événement et de retarder la décision. L'algorithme de régulation du BO Terrenoire pourrait certes encore être amélioré, mais le volume du bassin et la capacité du réseau aval imposent une limite qui, grâce à l'optimisation présentée, est presque atteinte. Ce sont donc d'autres pistes, comme l'amélioration de la robustesse de la modélisation pluie-débit, qui

Période d'analyse: 13.12.2019-01.01.2021				
	MES [kg/an]		N-NH ₄ [kg/an]	
Sans prévisions (2000-2021)	13543		36	
Avec prévisions INCA	13662	1%	35	-3%
Avec prévisions INCA, optimisé	10789	-20%	25	-31%
Avec prévisions INCA, optimisé, et aménagements constructifs	10704	-21%	24	-34%
Sans prévisions, rétention à la source [20 l/s]	12704	-6%	34	-4%

Tab. 2 Rejets de matières en suspension (MES) et d'ammonium (N-NH₄), suivant plusieurs scénarios.

permettraient de préciser la répartition spatiale des écoulements de ruissellement. L'écoulement réel au DO Wilson serait alors mieux estimé, et la consigne de débit au BO Terrenoire plus fine. Pour y parvenir, l'installation de pluviomètres supplémentaires permettrait de mieux représenter spatialement les précipitations et donc de mieux paramétrer les caractéristiques des bassins versants. Bien entendu, l'amélioration de la prévision radar (INCA) aurait un impact extrêmement favorable. Cependant, il s'agit d'un travail de très longue haleine déjà engagé par de nombreux experts en Europe.

Au final, la gestion dynamique des réseaux, appuyée par un jumeau numérique et en particulier la combinaison entre prévision des écoulements et optimisation des ouvrages en temps réel, apporte des solutions efficaces et peu coûteuses en comparaison de mesures de génie civil. Ces bénéfices sont obtenus non seulement en phase d'exploitation, mais aussi lors du développement du système, car cette étape nécessite une prise de connaissance des ouvrages et finalement une meilleure maîtrise du réseau par tous les acteurs du projet.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Baumgartner D. et al. (2019): *Gestion des eaux urbaines par temps de pluie. Directive Association suisse des professionnels de la protection des eaux*
- [2] Elsener, J. et al. (2019): *Echtzeit-Monitoring für das ERM-Abwassersystem. Aqua & Gas 10/2019: 62-69*
- [3] Hammond, M. J. et al. (2015): *Urban Flood Impact Assessment: A State-of-the-Art Review. Urban Water Journal 12(1): 14-29. DOI:*

10.1080/1573062X.2013.857421

- [4] Jordan, F.; Gerber, P.; Heller, P. (2021): *Gestion intégrée du réseau - l'idée de digital twin pour la valorisation des données temporelles et l'aide à l'exploitation. Proc., Forum ARPEA-VSA-GRESE «Le traitement des eaux à l'heure du big data», arpea mag. 286, Genève*
- [5] *Climatologie globale à Saint-Etienne - Bouthéon - Infoclimat. <https://www.infoclimat.fr/climatologie/globale/saint-etienne-bouthéon/07475.html> (visité le 11/05/2021)*
- [6] Jordan, F. (2007): *Modèle de prévision et de gestion des crues - Optimisation des opérations des aménagements hydroélectriques à accumulation pour la réduction des débits de crue. PhD thesis n°3711, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, Switzerland*
- [7] Jordan, F.; Boillat, J.-L.; Martinerie, R. (2010): *Modélisation du réseau d'assainissement de la ville de Lausanne - Outil de diagnostic et de planification. gwa - Gas-Wasser-Abwasser*

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient *Keyhops*, entité du groupe *Veolia OTV*, pour la mise à disposition des données temps réel et l'interconnexion à la supervision du réseau de St-Chamond, ainsi que la société *Veolia Eau France* pour la mise à disposition du personnel et des ressources permettant de réaliser le projet.

3/2010: 199-208

- [8] Kleiner, A.; Jordan, F. (2017): *Projet d'auto-surveillance des réseaux d'assainissement genevois. Proc., «Hydraulique des canalisations» VSA, 3^e séminaire, pp 123-135, ed. M. Pfister, HES-SO, Fribourg*
- [9] Barton, Y. et al. (2020): *A method for real-time temporal disaggregation of blended radar-rain gauge precipitation fields. Meteorological Applications 27(1). DOI: 10.1002/met.1843*

> SUITE DU RÉSUMÉ

können die Überläufe aus dem Becken und beim Wilson-Regenüberlauf, der sich zwischen dem Becken und der Kläranlage befindet, minimiert werden. Die Ergebnisse zeigen, dass mit dieser Optimierung das Abflussvolumen im gesamten Netz um 17% reduziert werden konnte. Zudem könnte das Abflussvolumen mit kleinen baulichen Anpassungen am Terrenoire-Becken und am Regenüberlauf Lafayette oberhalb der Kläranlage um weitere 5% verringert werden. Nach diesen Verbesserungsschritten wird die Kanalnetzbewirtschaftung einzig durch das geringe Auffangvolumen des Netzes und die Unsicherheiten der Radarvorhersagen limitiert.

In einem dritten Schritt wurden schliesslich die Immissionen in die natürliche Umwelt analysiert. Die Ammonium- und Schwebstoffbelastungen im Fluss Gier während eines Überlaufes sind problematisch, wenn der Abfluss unter 1 m³/s liegt. Auch hier zeigen sich die positiven Auswirkungen einer optimierten Bewirtschaftung deutlich.

WASSER ▼ BODEN ▼ LUFT
Analytische Untersuchungen und Beratung

envilab

ANALYTIK AUS LEIDENSCHAFT

ENVILAB AG
Mühlethalstrasse 25, 4800 Zofingen
T 062 745 70 50, www.envilab.ch