

Zeitschrift: bulletin.ch / Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse
Band: 115 (2024)
Heft: 6

Artikel: Le solaire flotte depuis quatre ans aux Toules
Autor: Kaufmann, Andy
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1075100>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

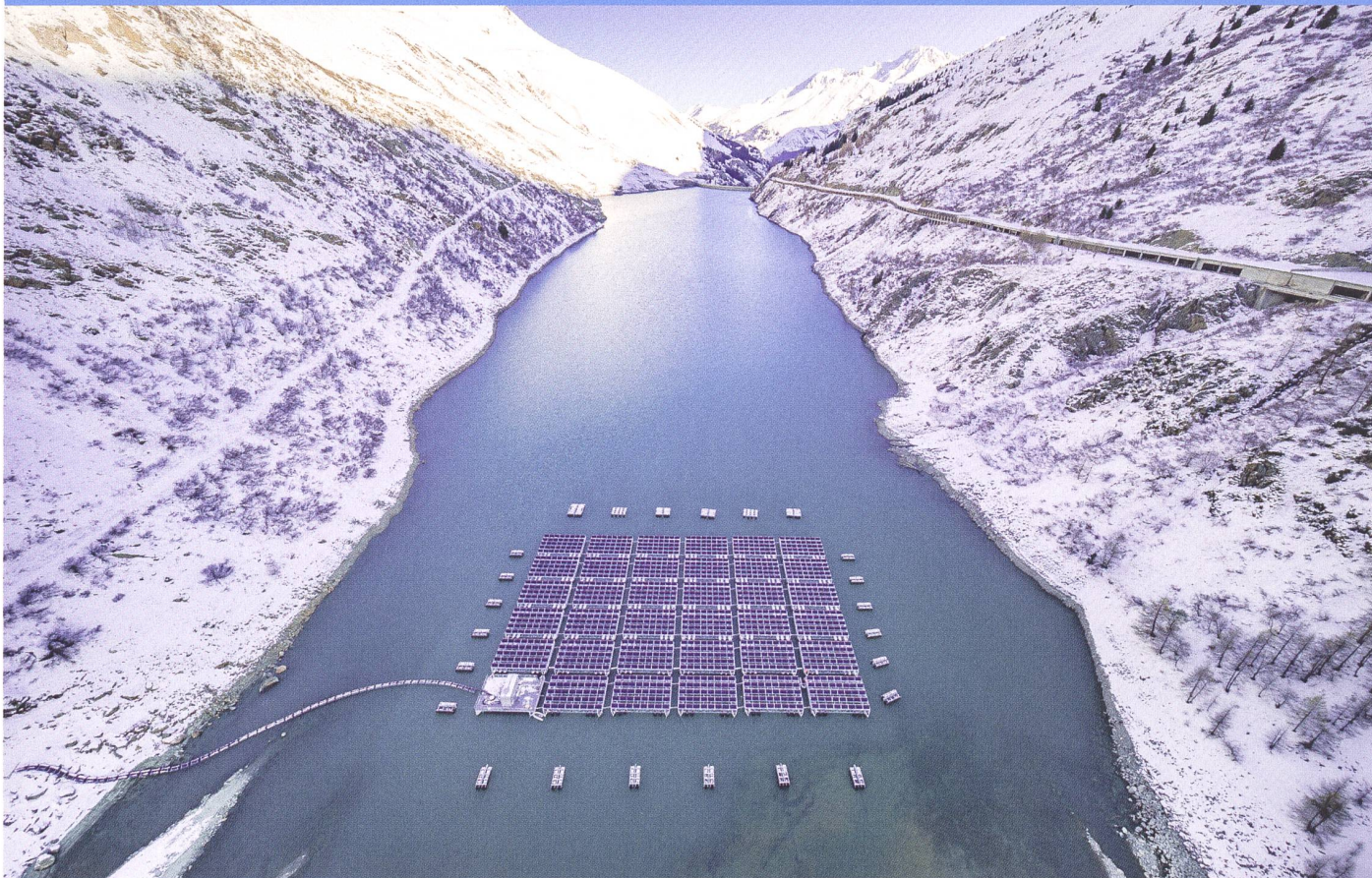
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées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

Terms of use

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

Download PDF: 03.04.2026

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



Le solaire flotte depuis quatre ans aux Toules

Résultats, retours d'expérience et perspectives | Suite à la mise en service du premier parc solaire flottant en milieu alpin sur le lac des Toules fin 2019, une production photovoltaïque supérieure d'environ 30 % à celle réalisée en plaine a pu être enregistrée. Les expériences et résultats accumulés plaident en faveur d'une extension de cette technologie à d'autres lacs d'accumulation dans les Alpes.

ANDY KAUFMANN

En novembre 2019, le premier parc solaire flottant de Suisse a été mis en service sur le lac des Toules, situé à 1810 m d'altitude dans la région du Grand-Saint-Bernard, en Valais. Du fait de sa situation et de son exposition aux conditions climatiques extrêmes, il s'agit là d'une première mondiale. Composé de 1400 modules photovoltaïques (PV) bifaciaux d'une puissance nominale de 320 W, le parc produit depuis annuellement environ 636 MWh d'électricité, pour une puissance installée totale de 448 kW: le productible aux Toules (1420 kWh/kW) est

ainsi supérieur d'environ 30 % à celui des installations en plaine. De plus, dans le but de répondre à une exigence cantonale, 40 % de la production de l'installation est réalisée durant le semestre d'hiver, au détriment de la production annuelle: les modules sont fortement inclinés, à 37°, pour bénéficier d'une meilleure exposition hivernale.

Suite à ces résultats encourageants et en se basant sur divers apprentissages, Romande Energie poursuit le développement de cette technologie novatrice. Le projet d'extension sur le lac des

Toules se trouve actuellement dans une phase d'étude avancée, avec pour objectif une installation de 13,6 MW pour une production annuelle prévue de 21 GWh, dont 40 % durant le semestre hivernal.

Afin de quantifier le potentiel de cette technologie en Suisse, 25 lacs d'accumulation ont été analysés, dont 11 ont été qualifiés comme offrant une situation favorable à la réalisation de telles installations. Une estimation préliminaire prévoit un potentiel de puissance nominale d'environ 400 MW, pour une production annuelle de plus de 550 GWh.

Malgré les expériences acquises et l'expertise dans la surveillance des barrages, ainsi qu'une volonté politique et un cadre économique favorable, ces installations ne sont aujourd'hui pas autorisées, en raison de l'absence de base légale concernant la sécurité des ouvrages d'accumulation.

Production du parc solaire flottant du lac des Toules

Dès 2012, une installation pilote au sol, au niveau du barrage des Toules, a servi d'installation de test afin de déterminer quelle technologie de modules retenir ainsi que leur inclinaison idéale. Il en a résulté qu'un angle de 30° représentait le meilleur compromis entre la production annuelle des panneaux bifaciaux et le déneigement naturel de leur surface. La combinaison d'une meilleure irradiation et de températures plus faibles ainsi que de l'effet d'albedo sur le sol et l'environnement enneigé durant de longs mois ont permis de mesurer un productible de près de 1800 kWh/kW. Ceci représente une production supérieure de 50% à celle des installations en plaine. Dans cette installation, les rangées de modules PV étaient espacées de 3,0 m et orientées plein sud.

La conception de la plateforme flottante a débuté en 2016. La production

photovoltaïque a été simulée avec le logiciel PVsyst, en intégrant des paramètres mesurés sur l'installation au sol. Ces simulations prévoient un productible de 1470 kWh/kW, soit 33% supérieur à celui des installations en plaine (figure 1). Cette différence par rapport au productible mesuré avec l'installation au sol s'explique essentiellement par le choix d'un objectif de rationalisation et de densification qui a mené à la réduction des distances entre les rangées de modules à 1,94 m (-5,0%). En outre, l'installation flottante se situe 2 km plus au sud, augmentant par là même l'impact de l'ombrage lointain (-6,8%). En effet, en moyenne annuelle, l'ensoleillement dont bénéficie l'installation flottante est ainsi réduit de 40 min par jour par rapport à l'installation pilote. De plus, quand l'installation flotte, l'effet d'albedo est quasi nul, contrairement à celui dont profite l'installation au sol (-4,0%). L'inclinaison des modules en configuration flottante a aussi été augmentée à 37° afin d'atteindre une inclinaison de 32° en configuration échouée (-1,5%). Enfin, les modules de l'installation au sol étaient équipés de micro-onduleurs, ce qui n'est pas le cas de ceux de l'installation flottante (-2,5%).

Après quatre ans d'exploitation, le productible moyen annuel mesuré est

de l'ordre de 1420 kWh/kW, soit 29% supérieur à celui des stations de référence en plaine et inférieur de 3,5% aux projections simulées. Cette différence s'explique par plusieurs éléments.

D'une part, bien que le déneigement naturel des surfaces des modules PV fonctionne généralement comme prévu, la période autour du solstice d'hiver manque d'ensoleillement pour qu'il puisse s'effectuer. D'autre part, l'installation est soumise à un phénomène de formation de congères qui mène à des dépôts de neige soufflée localement plus importants que la hauteur de stockage disponible sous les modules. La neige accumulée ne peut donc plus être évacuée et recouvre les modules durant plusieurs heures, voire plusieurs jours. Le cumul de ces effets représente une perte de production de 20 à 45 jours par hiver, essentiellement entre mi-décembre et fin février. En comparaison, l'installation au sol ne perd que 4 à 15 jours de production en raison de la couverture neigeuse.

Un vieillissement moindre

Bénéficiant autant de la structure pilote à terre que de l'installation flottante, un suivi du vieillissement des modules PV a été mis en place. Pour ce faire, des « flash tests » – des tests permettant de

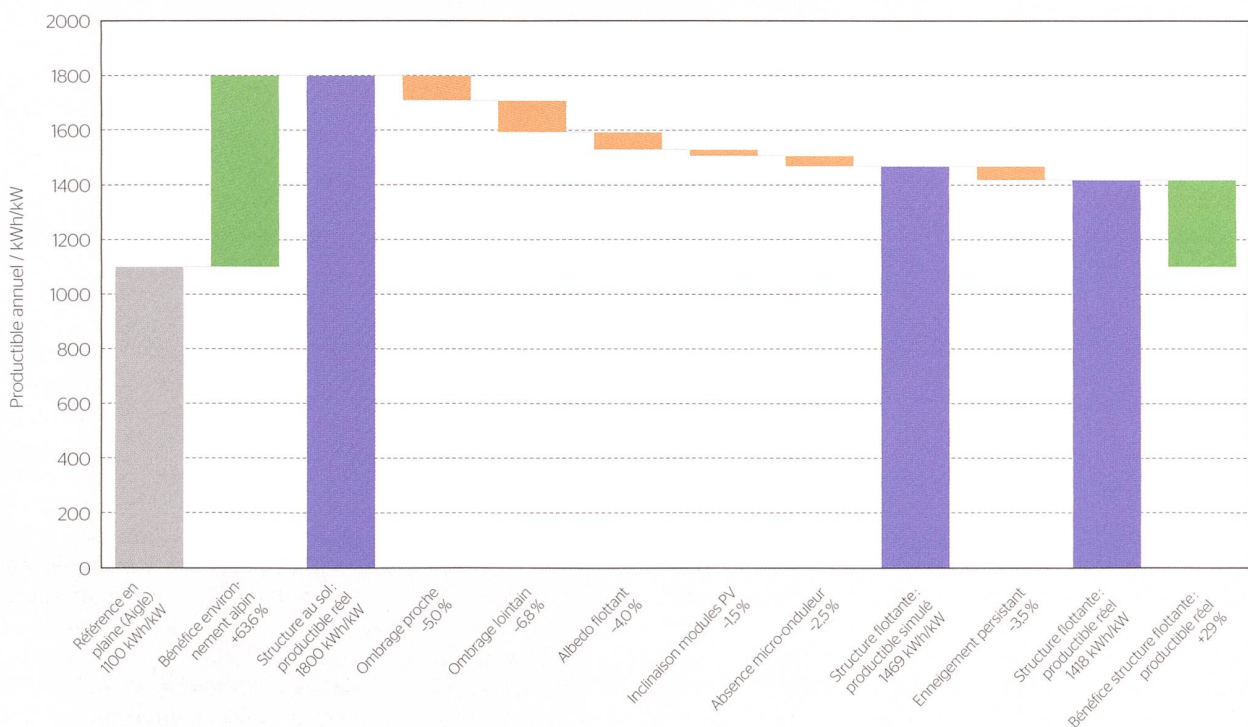


Figure 1 Évolution du productible entre simulations et mesures.



Figure 2 Quand le lac des Toules est vidangé, le parc flottant repose sur une plateforme constituée de matériaux de remblai dont la hauteur atteint près de 7 m par endroits.

déterminer les performances des modules – sont réalisés tous les trois ans. À ce jour, les résultats mettent en évidence un vieillissement moindre par rapport à celui des modules situés en plaine, et aucune dégradation spécifique à l’environnement aquatique ou alpin n’a été observée.

Au niveau de l’exploitation de l’installation photovoltaïque, hormis les défis logistiques que représente une installation flottante, aucune différence notable par rapport à une installation classique n’a pu être mise en évidence.

Enseignements structurels

La plateforme d’environ 12 000 m² sur laquelle la structure s’échoue lorsque le lac est vidangé en hiver, est constituée de matériaux de remblai en provenance du lac (**figure 2**). Au point le plus haut, ce remblai mesure près de 7 m. Toutefois, en raison de la granulométrie discontinue du matériau, certains endroits ont subi des tassements pouvant atteindre 1,5 m de hauteur. En conséquence, certaines structures prévues pour reposer sur leurs quatre angles se trouvent en porte-à-faux, subissant alors une répartition des efforts différente de ce qui était attendu et répercutant dès lors une surcharge sur les structures voisines. Ceci a provoqué des déformations, et certaines fois même la ruine par flambage ou l’arrachage de soudures.

La conception du système d’ancrage, constitué de 32 éléments enfouis disposés autour de la structure, avec des lignes d’ancrage statiques, a répondu aux besoins de la plateforme. Toutefois, cette disposition nécessite une emprise au sol très importante comparée à la surface du parc flottant.

Projet d’extension sur le lac des Toules

Fort de ces apprentissages et des productions encourageantes obtenues, un projet d’extension est à l’étude sur le lac des Toules depuis 2021. Afin de pallier les complications dues aux mouvements du terrain, la structure flottante a été totalement revue. En outre, des simulations numériques détaillées ont été réalisées afin de déterminer précisément les contraintes dues au vent.

L’objectif de production hivernale – au moins 40 % de la production annuelle – reste une contrainte majeure. Pour cette raison, les modules seront inclinés à plus de 40°, également dans le but de permettre une évacuation naturelle de la neige accumulée. Les espacements entre les rangées seront adaptés en conséquence. Enfin, de sorte à éviter les accumulations de neige au-dessus des modules, la hauteur au sol a été augmentée.

Le design des ancrages a aussi été modifié. Naturellement, les efforts dus au vent constituent un facteur dimen-

sionnant, mais les contraintes telles que l’exposition aux dangers naturels ou la variation du niveau du lac sont autant de paramètres qui ont également été considérés. Finalement, l’installation projetée dispose de moins de lignes d’ancrage que la plateforme existante et, la marge d’incertitude dans l’échouage étant moindre, la surface au sol est nettement diminuée. De ce fait, la surface de production photovoltaïque peut être agrandie.

Le projet actuel prévoit une surface d’environ 20 ha, soit approximativement un tiers de la surface du lac. La variation maximale du niveau d’eau est de 60 m et des vents de près de 180 km/h sont considérés pour le dimensionnement. Il est prévu une puissance installée de 13,6 MW pour une production annuelle de 21 GWh, dont environ 8,6 GWh produits entre octobre et mars. La configuration retenue permettra d’atteindre un productible annuel de 1543 kWh/kW, soit 40 % de production supplémentaire par rapport aux installations de référence en plaine. La structure flottante et ses ancrages sont conçus pour une durée de vie de 60 ans, nécessitant un remplacement des modules PV à mi-vie.

Enfin, au vu des fortes contraintes en matière de vent et de neige ainsi que de la forte inclinaison des modules PV pour favoriser la production hivernale, un projet parallèle étudie actuellement un dispositif permettant une variation autonome de l’angle d’inclinaison dans le temps. Son objectif primaire consiste à mettre l’installation en sécurité en cas de tempête afin de limiter les efforts sur les lignes d’ancrage. Mais il permettrait également d’aider au déneigement, en inclinant pour quelques minutes les modules à un angle très raide. Bien que disponible industriellement pour des centrales PV au sol, cette technologie doit être adaptée aux conditions climatiques alpines et aquatiques ainsi qu’aux exigences de sécurité.

Potentiel du solaire flottant en Suisse

En 2022, le Laboratoire d’hydraulique, d’hydrologie et de glaciologie (Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, VAW) de l’ETH Zurich a publié une étude relative au potentiel des installations photovoltaïques flottantes en Suisse. Celle-ci a conclu à un potentiel de 370 à 490 GWh/a. Deux

importantes contraintes ont toutefois été considérées dans cette étude: d'une part, le réservoir ne doit pas être vidangé durant l'année – donc l'installation ne doit pas s'échouer – et, d'autre part, le point de raccordement au réseau électrique ne doit pas se situer à plus de 2 km de l'installation. Or, quasiment tous les réservoirs hydroélectriques alpins nécessitent des vidanges, que ce soit pour des questions d'exploitation courante – pour permettre un stockage saisonnier par exemple – ou pour des cas de maintenance.

Ces restrictions paraissant trop limitantes et injustifiées, Romande Energie a mené sa propre analyse de potentiel, en retenant 25 lacs d'accumulation dans les Alpes suisses. Pour ce faire, des critères comme l'ombrage lointain, la pente des berges, l'existence de zones de protection de la nature et du paysage ou de zones de dangers naturels, ont été analysés. Sur cette base, et dans l'objectif de pouvoir fournir au minimum 500 kWh/kW durant le semestre d'hiver, il est apparu que 11 réservoirs présentaient un potentiel favorable ou très favorable. Ils permettraient l'installa-

tion de 360 à 400 MW de nouvelle puissance photovoltaïque, avec une production annuelle estimée en première approche à 500 à 550 GWh/a, tout en favorisant une production hivernale.

À noter que la section Énergies renouvelables de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) a également mené une étude de potentiel, mais leurs résultats ne sont à ce jour (au moment de la rédaction de cet article) pas encore publiés.

Contexte légal

En septembre 2022, le Parlement suisse a validé la mise en vigueur d'une loi urgente, le SolarExpress, visant à installer des capacités de production photovoltaïque dans les Alpes (loi sur l'énergie LEne, art. 71a). Dans la mesure où l'installation peut être mise en service, du moins partiellement, d'ici la fin de l'année 2025 et où une production hivernale minimale peut être atteinte, celle-ci peut bénéficier d'une subvention de la Confédération. Le délai imposé pour la réalisation de telles installations est toutefois extrêmement limitant.

Dans ce contexte, Romande Energie a pu mettre en circulation préliminaire le projet d'extension prévu. Il a été accueilli favorablement par l'ensemble des services cantonaux, et les habitants de la commune de Bourg-St-Pierre l'ont accepté à l'unanimité lors de leur assemblée primaire en juin 2023. Malheureusement, l'OFEN, par le biais de sa section Surveillance des barrages, n'a pas pu rendre de préavis étant donné l'absence de base technique et légale. Ainsi, pour l'heure, l'ensemble des projets solaires flottants sur des ouvrages d'accumulation sont gelés.

Dans le but de pouvoir résoudre cette absence de directive, l'OFEN a lancé la création d'un groupe de travail dont l'objectif est de clore la rédaction de ladite directive d'ici le printemps 2026. Ensuite, le développement de ces projets novateurs pourra être repris.



Auteur

Andy Kaufmann est responsable de projets ayant trait aux énergies renouvelables ainsi que du développement des projets solaires flottants chez Romande Energie.
→ Romande Energie, 1110 Morges
→ solaireflottant@romande-energie.ch

IN KÜRZE

Solarenergie schwimmt seit vier Jahren auf dem Lac des Toules

Ergebnisse, Erfahrungen und Ausblick

Im November 2019 wurde der erste schwimmende Solarpark der Schweiz in Betrieb genommen – auf dem Lac des Toules auf 1810 m Höhe in der Region des Grossen St. Bernhard im Wallis. Der aus 1400 bifazialen PV-Modulen bestehende Park produziert seither jährlich rund 636 MWh Strom, bei einer installierten Gesamtleistung von 448 kW: Die Produktion pro installiertem kW in Les Toules (1420 kWh/kW) ist damit rund 30 % höher als bei Anlagen im Mittelland. Und dies trotz der Tatsache, dass im Hinblick auf die Erfüllung einer kantonalen Anforderung 40 % der Produktion der Anlage im Winterhalbjahr erfolgt: Um dies zu erreichen, wurde die Neigung der Module nämlich so optimiert, dass die Winterproduktion begünstigt wird, auch wenn es auf Kosten der Jahresproduktion geschieht.

Nach diesen ermutigenden Ergebnissen und auf der Grundlage verschiedener Lernerfahrungen setzt Romande Energie die Entwicklung dieser Technologie fort. Das Erweiterungsprojekt am Lac des Toules befindet sich derzeit

in einer fortgeschrittenen Studienphase. Ziel ist eine Anlage mit 13,6 MW und einer erwarteten Jahresproduktion von 21 GWh, wovon etwa 8,6 GWh im Winterhalbjahr erzeugt werden sollen. Um das Potenzial dieser Technologie in der Schweiz zu quantifizieren, wurden zudem 25 Speicherseen analysiert, von denen 11 als geeignet für die Realisierung solcher Anlagen qualifiziert wurden. Eine vorläufige Schätzung geht von einem Nennleistungspotenzial von rund 400 MW aus, was einer Jahresproduktion von über 550 GWh entspricht.

Trotz der vorliegenden Erfahrungen sowie der günstigen rechtlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen werden solche Anlagen heute jedoch nicht bewilligt, da es an einer gesetzlichen Grundlage auf der Ebene der Sicherheit der Speicheranlagen mangelt. Das BFE hat daher die Einsetzung einer Arbeitsgruppe in die Wege geleitet, die die erforderliche Richtlinie bis zum Frühjahr 2026 ausarbeiten soll. Anschliessend kann die Weiterentwicklung von solchen Projekten wieder aufgenommen werden.

HYDRO



EXPLOITATION
BETRIEB



USINAGE
BEARBEITUNG

AU SERVICE DE LA FORCE HYDRAULIQUE IM DIENSTE DER WASSERKRAFT



MESURES ET EXPERTISES
DIAGNOSE UND EXPERTISE



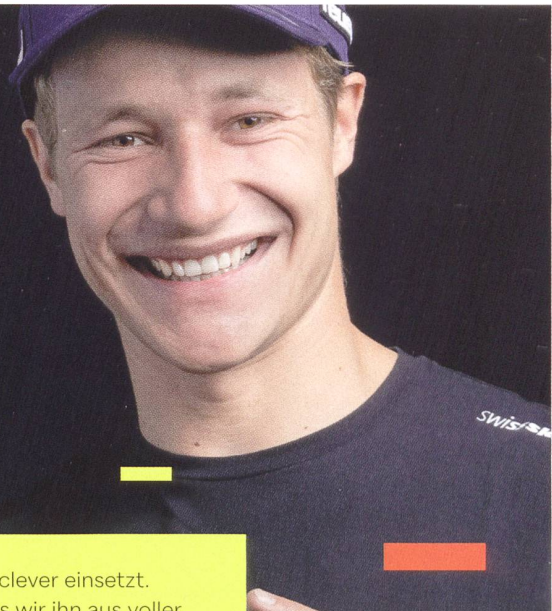
INGÉNIERIE
ENGINEERING

hydro.ch



NeoVac

Energie
intelligenter
machen.



Marco Odermatt weiss, wie er seine Kraft und Dynamik clever einsetzt. Das macht ihn zum Champion. Da ist es nur logisch, dass wir ihn aus voller Überzeugung unterstützen. Schliesslich geht es auch bei NeoVac darum, Energie auf intelligente Weise zu nutzen. In diesem Sinne: **Weiter so, Marco!**

Making energy smarter

neovac.ch