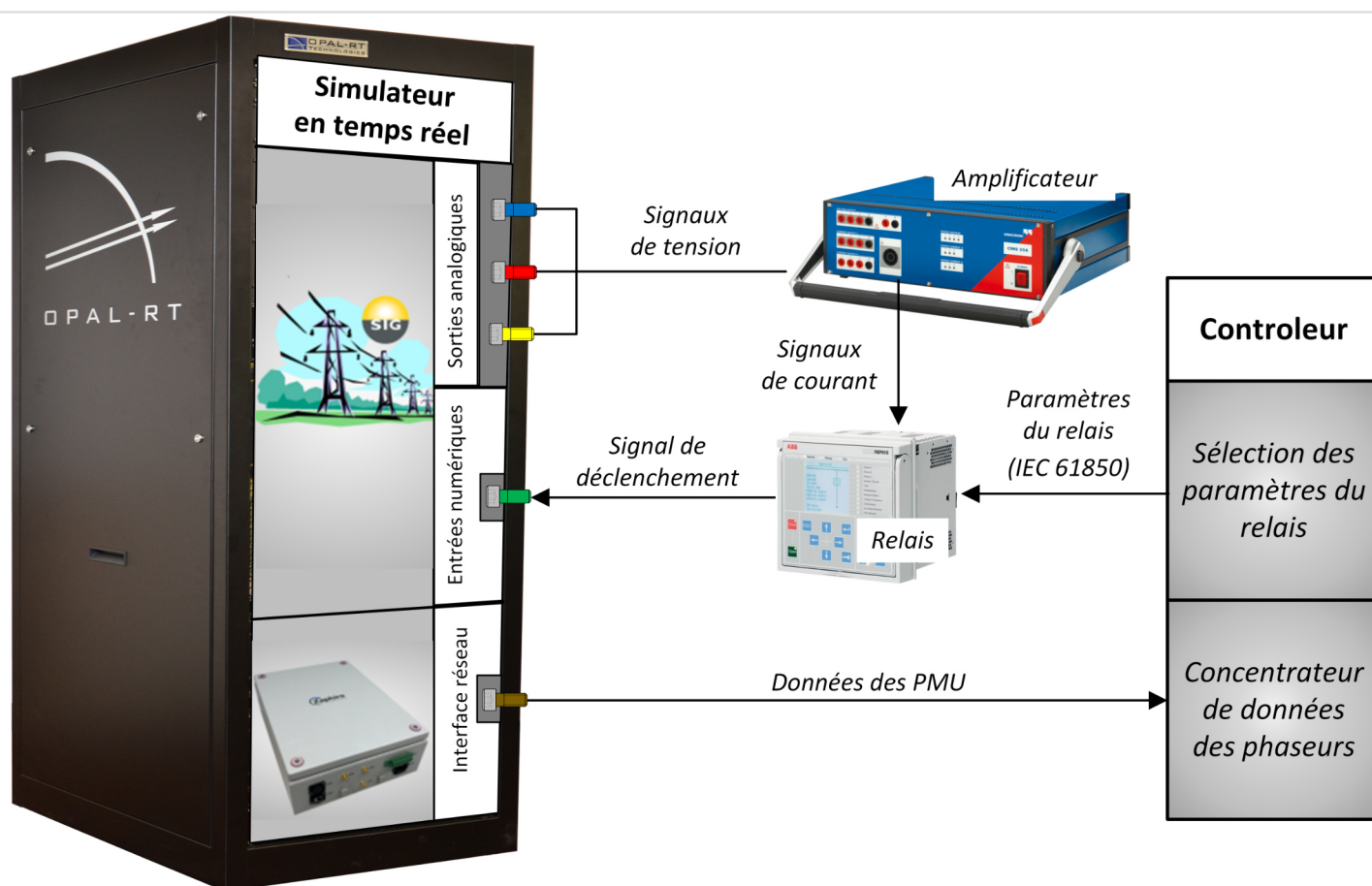


UN DISJONCTEUR POUR TOUS LES CAS

Dans chaque maison il y a, pour chaque circuit, un disjoncteur qui arrête les flux de courant dangereusement importants et protège ainsi les personnes contre les chocs électriques et l'installation électrique contre la destruction. La situation est très similaire dans les réseaux électriques : ici aussi, les systèmes de protection interrompent les flux de courant dangereux en cas de court-circuit, par exemple. Une équipe de chercheurs de Suisse occidentale a maintenant mis au point un nouveau concept de protection adapté aux réseaux de distribution d'électricité comportant une forte proportion de systèmes photovoltaïques ou d'autres centrales décentralisées.



Grâce à la collaboration avec l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) une simulation en temps réel de la portion de réseau des Services Industriels de Genève (SIG) investiguée a été réalisée pour tester l'algorithme de protection SynchroFAP dans un environnement HIL (Hardware-In-the-Loop). Illustration : Rapport final de SynchroFAPt

A droite : Plusieurs lignes à moyenne tension partent de la sous-station Hugschwendi de l'EWO, située à l'arrière du Melchtal (OW). Chacune d'elles est protégée contre les surcharges par un système de protection.



A gauche : Système de moyenne tension de 16 kV dans la sous-station de Hugschwendi avec des unités combinées de protection et de contrôle. Photo: EWO.

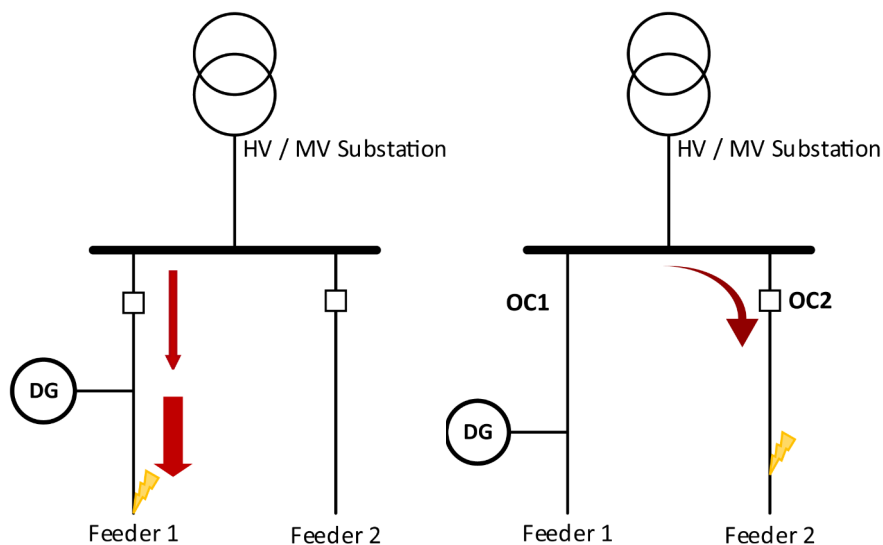
Outre tous ses avantages, l'électricité a aussi un côté dangereux. Tous ceux qui ont déjà subi un choc électrique le savent. Heureusement, les accidents graves liés à l'électricité sont rares. Les plus de 600 gestionnaires de réseaux de distribution suisses assurent cette sécurité grâce à des mesures de précaution étendues. La sécurité signifie que si un courant dangereusement fort circule quelque part, la ligne est immédiatement déconnectée. Il y a des disjoncteurs dans chaque foyer, mais aussi à différents points du réseau électrique, par exemple dans chaque sous-station où l'électricité est transformée de la haute à la moyenne tension. C'est également le cas de la sous-station de Hugschwendi, tout au fond de la vallée du Melchtal, dans le canton d'Obwalden. Une ligne à moyenne tension de 16 kilovolts exploitée par Elektrizitätswerk Obwalden (EWO) alimente en électricité 420 clients du domaine de randonnée et de ski de Melchsee-Frutt.

Des relais intelligents basés sur la stratégie UMZ (abréviation allemande de: « unabhängiger Maximalstrom-Zeitschutz ») assurent ici la protection des lignes. Dans ce cas précis, le courant maximum est fixé à 480 ampères (ca 2,5 fois le cou-

rant nominal de la ligne) et le temps à 0,8 secondes. Cela signifie que, si un courant de plus de 480 ampères passe par la ligne moyenne tension, par exemple à la suite d'un court-circuit, la ligne est automatiquement interrompue après 0,8 secondes par un disjoncteur. « Avec cette fonction de protection traditionnelle, qui est supportée parfois par des éléments de sécurité supplémentaires, nous assurons un fonctionnement sûr de notre réseau électrique », explique Markus Ettlin, responsable du réseau de l'EWO. Il est rare que le courant soit interrompu dans la sous-station. Dans les branches de chaque réseau moyenne tension, d'autres relais de protection avec des temps d'interruption encore plus courts sont installés. Le décalage temporel garantit qu'en cas d'interruption de l'approvisionnement en électricité pour des raisons de sécurité, le nombre de clients touchés est toujours le plus faible possible (« sélectivité »).

Repenser les systèmes de protection

Des systèmes de protection de ce type sont utilisés non seulement dans le Melchtal, mais aussi dans toute la Suisse et bien sûr à l'étranger. Jusqu'à présent, ils ont assuré un appro-



Une fois que le courant a été transformé de haute à moyenne tension dans la sous-station, il circule dans deux lignes d'alimentation (Feeder 1, Feeder 2). Les deux lignes sont protégées contre les défauts par un système de protection qui se base sur des relais de sur-courant (OC1, OC2) installés au départ de chaque ligne. Si de grandes quantités d'électricité provenant d'une production décentralisée (DG) sont injectées dans la ligne d'alimentation 1, deux risques de défaillance sont envisageables, représentés ici de manière schématique. Dans le cas du « blinding » (à gauche), un court-circuit survenu dans la ligne d'alimentation 1 en aval de la production décentralisée ne serait pas détecté par le relais OC1. La conséquence serait la brûlure de la ligne 1 à cause d'un défaut non détecté. En cas de « sympathetic tripping » (à droite), le courant généré de manière décentralisée dans la ligne 1 remonterait cette même ligne pour contribuer à alimenter le défaut situé dans la ligne 2, causant le déclenchement du relais OC1, avec la conséquence de priver inutilement d'alimentation les clients raccordés à la ligne 1. Graphique : Rapport final SynchroFAP

visionnement sûr en électricité. Mais à l'avenir, les systèmes de protection devront peut-être être adaptés, explique le professeur Davide Pavanella, expert en réseaux électriques à la Haute école spécialisée de Suisse occidentale (HES-SO Valais-Wallis) à Sion. « Les systèmes de protection conventionnels sont basés sur des seuils fixes pour les flux de courant, et ils ne fonctionneront plus de manière fiable si les courants dans les réseaux de distribution fluctuent fortement en raison d'une forte production décentralisée par des systèmes photovoltaïques, par exemple ». Davide Pavanella a été à la tête d'un projet de recherche soutenu par l'OFEN appelé SynchroFAP (Synchrophasors for adaptive protection), qui a étudié pendant deux ans un nouveau concept de protection adaptative avec des partenaires académiques et industriels.

« Aveugle » aux flux d'énergie réels

L'un des partenaires du projet était le gestionnaire du réseau de distribution genevois Services Industriels de Genève (SIG). Pour illustrer le problème, l'équipe de projet de Pavanella a modélisé sur ordinateur une petite partie du réseau moyenne tension SIG de la zone géographique de Troinex-Carouge-Saconnex d'Arve et Veyrier. Avec cette modélisation, les scientifiques ont étudié le comportement du réseau en présence d'un défaut lorsque des centrales électriques décentralisées injectent beaucoup d'électricité. C'est une situation nouvelle pour les systèmes de protection qui, par le passé, étaient conçus pour des réseaux électriques alimentés par de grandes centrales et non par de nombreuses petites centrales décentralisées.

Dans le cas d'une importante proportion de production décentralisée, deux dysfonctionnements peuvent théoriquement affecter les systèmes de protection (cf. schéma). Un dysfonctionnement est dit « blinding » : dans ce cas, le relais de protection installé en tête de chaque ligne sortant d'un poste de transformation ne détecte plus la totalité du courant d'un court-circuit qui survient plus loin dans la ligne. Le système de protection est donc « aveugle » pour le défaut. Dans le cas du deuxième dysfonctionnement, la situation est inversée : le relais de protection d'une ligne réagit à un défaut survenant dans une autre ligne, avec comme conséquence la coupure indésirée de la ligne saine (« sympathetic tripping », en français « déclenchement intempestif »).



Le réseau de distribution d'électricité dans la région de la commune genevoise de Veyrier sert de base à la recherche sur les systèmes de protection modernes dans les réseaux de moyenne tension. Photo : Commune de Veyrier



Le professeur Davide Pavanello dirige les activités de recherche liée aux systèmes de protection au sein du groupe Smart Grid de la Haute école spécialisée du Valais (HES-SO Valais-Wallis) à Sion. Les systèmes de protection adaptative sont un sujet de recherche novateur qui a été peu exploré jusqu'à présent. Photo: HES-SO Valais-Wallis

L'équipe du projet SynchroFAP a cherché à savoir grâce à leur modèle si ces deux dysfonctionnements se concrétiseraient dans le futur et avec quelle fréquence lorsque le réseau comportera autant de production décentralisée que le Canton de Genève envisage à l'horizon 2030 (multiplication par sept de la capacité PV par rapport à 2018 pour atteindre 350 MWp). Les chercheurs ont supposé qu'une production photovoltaïque d'une puissance cumulée de 12 MW soit injectée dans le sous-réseau modélisé, ce qui correspond à environ 2000 systèmes photovoltaïques sur des maisons individuelles ou trois installations comme celle de Palexpo à Genève. Si aucun cas de dysfonctionnement de type « sympathetic tripping » n'a pu être observé dans la série de tests, le phénomène du « blinding » s'est en revanche manifesté à plusieurs reprises : le relais de protection n'a pas déclenché de signal pour interrompre le flux de courant même si la ligne observée était surchargée. Les dysfonctionnements évoqués ont concerné seulement les défauts plus sévères dans lesquels plusieurs phases se touchent (biphasés ou triphasés) et pas les défauts constitués par le contact d'une seule phase avec la terre (monophasés).

Les paramètres de protection sont ajustés en permanence

Pour éviter le phénomène du « blinding » dans les réseaux de moyenne tension, les scientifiques romands proposent un concept de protection adaptative. Dans ce cas, le système de protection ne réagit pas au dépassement de valeurs seuils fixes mais variables, adaptées en permanence en fonction de la situation actuelle du réseau, notamment de la puissance injectée par les centrales photovoltaïques. Cela signifie donc, par exemple : si une grande quantité d'énergie photovoltaïque est actuellement injectée dans le réseau, la valeur seuil du relais de protection est abaissée de sorte qu'en cas de court-circuit, il détecte le courant de défaut et interrompt le circuit.

La start-up lausannoise Zaphiro Technologies a participé à toutes les phases du projet et a finalement mis en œuvre le concept de protection adaptative. Pour que l'algorithme SynchroFAP fonctionne, le réseau moyenne tension en question doit être équipé d'appareils de mesure spéciaux (appareils synchronisés de mesure de phaseurs, en anglais Phasor Mea-



Le team de SynchroFAP (de gauche à droite) : Dr Lorenzo Zanni (Zaphiro), Mr Jörg Reuter (Helinks LLC), Mr Eric Cottens (CESSA), Dr Paolo Romano (Zaphiro), Prof Davide Pavanello (HES-SO Valais-Wallis), Mr Michael Baranyai (SIG), Mr Adrien Buchard (HES-SO Valais-Wallis), Dr Marco Pignati (Zaphiro), Dr Michael Moser (OFEN), Prof Mario Paolone (EPFL). Photo: HES-SO Valais-Wallis

surement Units/PMU) à différents nœuds sélectionnés du réseau (ce qui n'est généralement pas le cas aujourd'hui). Les PMU mesurent généralement les valeurs caractéristiques (amplitude, fréquence, angle de phase) de la tension et du courant 50 fois par seconde. Afin de déduire l'état actuel du réseau à partir de ces données, les PMU sont synchronisées très précisément par le biais d'un signal GPS. « Nous utilisons les mesures de tension des PMU pour ajuster de façon optimale le système de protection à tout moment », explique le co-fondateur de Zaphiro, le Dr Lorenzo Zanni. La fonctionnalité de SynchroFAP a été démontré sur un environnement de simulation pour le sous-réseau SIG à Veyrier (voir ci-dessus). L'environnement de simulation provient du laboratoire du professeur Mario Paolone à l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), dont les compétences ont été de support tout au long du projet.

SIG envisage l'installation d'un pilote

« Grâce à notre système de protection adaptative, nous pouvons éviter des pannes de courant de plusieurs heures et des dégâts importants sur le réseau », est convaincu Dr Marco Pignati, co-fondateur de Zaphiro. SIG montre également de l'intérêt pour le nouveau système de protection, comme l'explique Michael Baranyai, responsable de l'unité d'exploitation du réseau électrique de SIG : « Nous aimerions valider la faisabilité de cette technologie avec une installation pilote sur une partie limitée de notre réseau moyenne tension, en parallèle avec le système de protection conventionnel ». Le réseau pilote devra être équipé de PMU à cette fin. « Les PMU sont principalement utilisées pour équiper les réseaux de distribution d'une surveillance en temps réel dans le but d'opti-

miser leur exploitation et ainsi - entre autres - d'éviter les renforcements de lignes. Une fois l'investissement dans les PMU réalisé, les données des PMU peuvent alors être utilisées pour un concept de protection flexible et robuste tel que SynchroFAP ».

➤ Le **rapport final** du projet de recherche de l'OFEN « SynchroFAP Protections adaptatives des réseaux actifs de distribution basés sur les PMU » peut être consulté à l'adresse suivante
<https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=41466>

➤ Des **informations** sur le projet peuvent être obtenues auprès du Dr. Michael Moser ([michael.moser\[at\]bfe.admin.ch](mailto:michael.moser[at]bfe.admin.ch)), responsable du programme de recherche Réseaux de l'OFEN.

➤ D'autres **articles spécialisés** sur les projets de recherche, les projets pilotes, les projets de démonstration et les projets phares dans le domaine de l'électricité peuvent être consultés sur www.bfe.admin.ch/ec-electricite.