



# Des réseaux stables grâce à l'électronique

**Concept de régulation** | Grâce à l'électronique de puissance et à un concept de régulation innovant, il est non seulement possible de stabiliser la tension dans un réseau de distribution asymétrique avec un investissement minimum, mais aussi de réduire les harmoniques dans les différentes tensions de phase. Pour ce faire, la compensation est fournie au réseau par le biais d'un transformateur monté en série.

BERNHARD GIRARDI, EUGEN M. JAKOB, CHRISTOPH FEHR, SIMON NIGSCH

**P**our atténuer le changement climatique, l'approvisionnement énergétique doit être décarboné. Ceci a pour conséquence une augmentation de la part de producteurs d'énergie volatils tels que les éoliennes et les installations photovoltaïques dans le mix énergétique. Une alternative à une extension du réseau ou au stockage d'énergie, deux solutions onéreuses, consiste à mieux adapter la consommation aux caractéristiques de la production. C'est pourquoi la demande en

matière de réseaux de distribution intelligents, aussi appelés smart grids ou microgrids, augmente dans le monde entier. Les prévisions relatives à la capacité de puissance des réseaux intelligents requise sur le marché mondial s'élèvent à 33 GW d'ici la fin de l'année 2027 (**figure 1**) [1]. Les analyses de marché prévoient des investissements pouvant atteindre 16 milliards USD dans les prochaines années [1].

L'exploitation des réseaux de distribution est en pleine évolution. À l'ori-

gine, l'énergie électrique était produite de manière centralisée dans de grandes centrales et acheminée vers les consommateurs par les réseaux de transport et de distribution. Les charges présentaient généralement un comportement linéaire – principalement résistif et inductif. Au cours des 20 dernières années, le nombre de charges et de sources électroniques a fortement augmenté. Or, toute électronique de puissance côté réseau modifie les rapports d'impédance dans un réseau de distri-

Figures : OST

bution. Le comportement non linéaire des entraînements régulés ou d'autres topologies d'onduleurs côté réseau provoque des courants harmoniques et peut donc nuire à la qualité de la tension.

De plus, dans le réseau de distribution actuel, le flux d'énergie n'est plus limité à une seule direction. Le nombre d'injections décentralisées dans le niveau de réseau 7, principalement dues à des installations photovoltaïques et à des éoliennes, va continuer d'augmenter. En raison de l'exploitation bidirectionnelle, il sera de plus en plus difficile de maintenir les tensions locales dans les limites de tolérance autorisées au niveau des réseaux de distribution. Les installations photovoltaïques de moyenne et grande taille sont souvent construites dans les zones rurales, où l'espace disponible sur les toits des granges ou des bâtiments industriels est suffisant. Toutefois, en raison de la faible densité de population, ces zones disposent typiquement d'un réseau de distribution plutôt « faible », avec une puissance apparente de court-circuit moindre. Pour éviter que, localement, la tension des consommateurs ne soit trop élevée par les producteurs, il peut actuellement être nécessaire de limiter la puissance d'injection.

Entre autres, une extension renforcée du réseau de distribution ou l'utilisation de systèmes de stockage locaux peuvent réduire ce problème de tension. Cependant, ces deux approches sont très onéreuses. Des solutions électromécaniques sont également à disposition, mais elles ne peuvent influencer que la valeur efficace de la tension du réseau.

### Un régulateur électronique de tension pour le réseau

Dans de tels cas, un régulateur électronique de tension haute fréquence peut constituer une alternative économique en termes de coûts et de ressources. Pour ce faire, un transformateur spécial est connecté en série entre le réseau du gestionnaire de réseau de distribution (GRD) et le réseau des consommateurs (figure 2). Les tensions générées en phase avec le réseau peuvent alors être appliquées à ce transformateur. La tension de sortie est obtenue en additionnant la tension du réseau de distribution et celle de l'onduleur. Il est ainsi possible d'in-

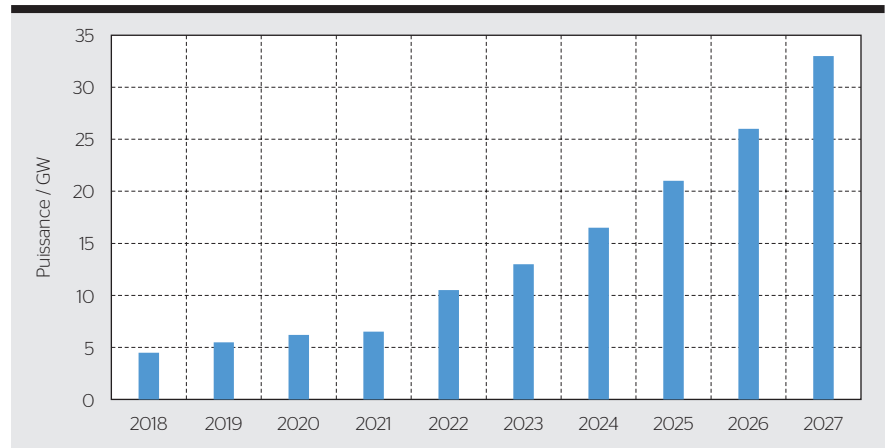


Figure 1 Capacités annuelles de puissance des smart grids et microgrids dans les réseaux de distribution [1].

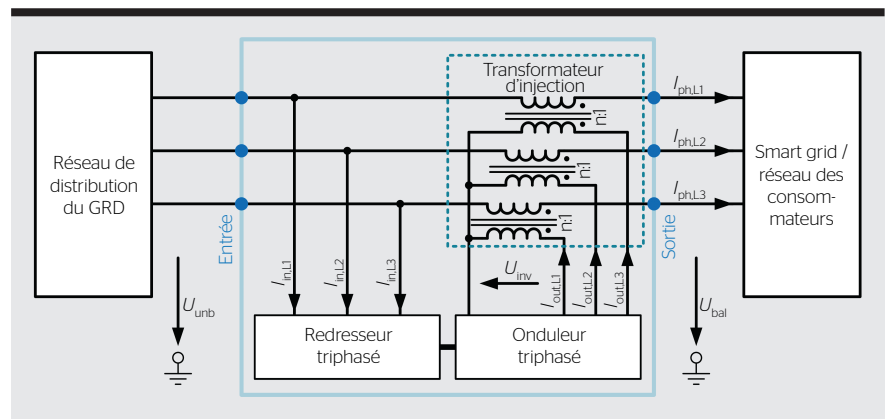


Figure 2 Schéma fonctionnel du régulateur de tension EVOC-DTR.

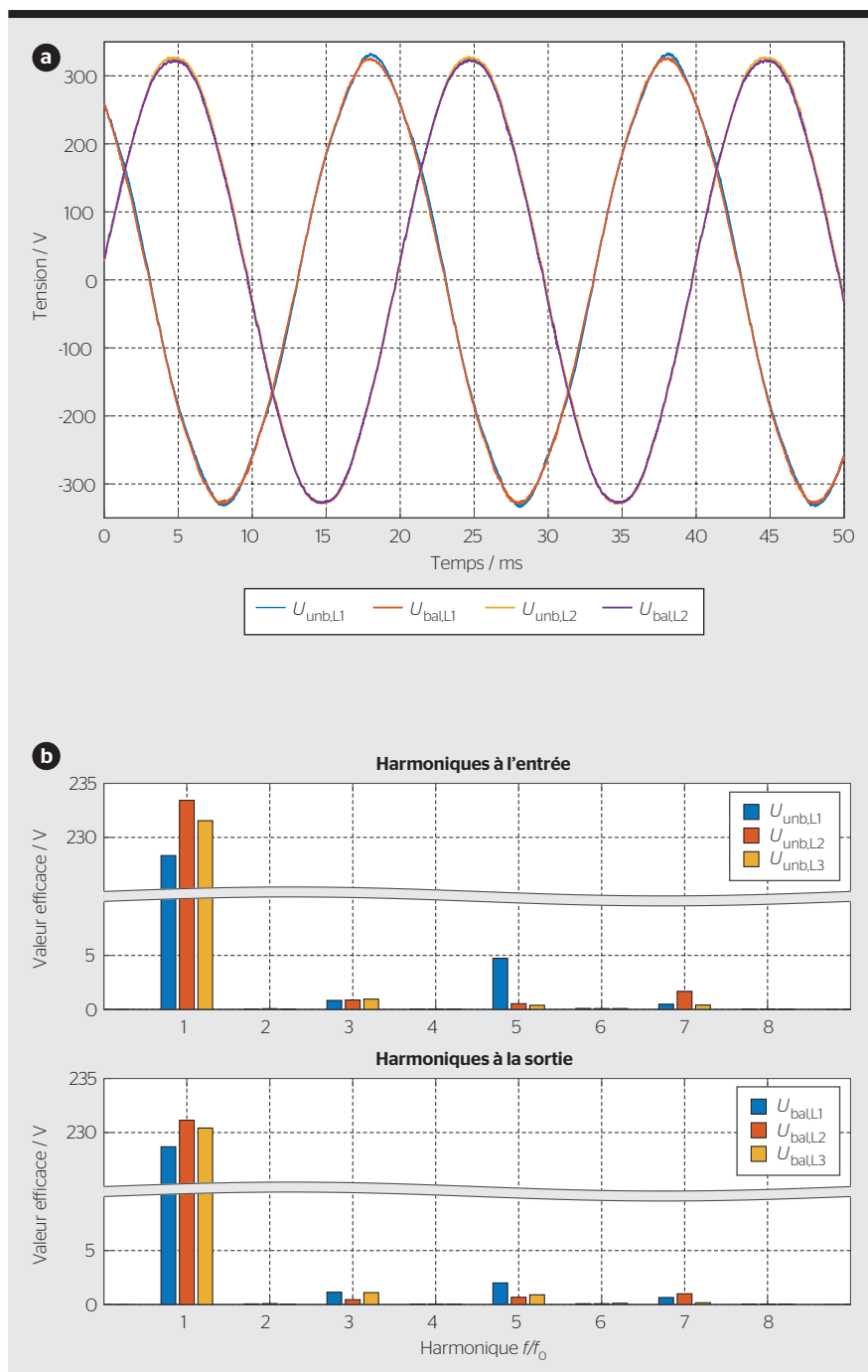
fluencer les valeurs efficaces et les asymétries des tensions de phase, et de réduire les harmoniques qu'elles contiennent. L'énergie pour la régulation est tirée avec un redresseur du côté entrée du réseau. Comme le transformateur est connecté en série avec les consommateurs, un courant de sortie proportionnel au courant de phase via le rapport de transformation  $n$  circule à travers l'onduleur.

En plus des composants illustrés dans la figure 2, le régulateur de tension dispose de mécanismes permettant de ponter le transformateur d'injection monté en série en cas de dysfonctionnement, ou de mettre tous les composants hors tension en cas de maintenance, et ce, sans couper le réseau de distribution. En cas de défaut, le régulateur arrête de fonctionner et les différentes spires du transformateur d'injection sont pontées, de sorte que les dispositifs de protection du réseau de distribution ne soient pas affectés par le régulateur de tension. Aucune

adaptation des concepts de protection existants n'est nécessaire, car le régulateur n'influence pas l'impédance du réseau de distribution en cas de défaut.

### Des réseaux plus stables et plus propres

Les essais en laboratoire démontrent un comportement stable du régulateur pour tous les points de fonctionnement simulés ainsi que les améliorations désirées de la qualité du réseau. La figure 3 présente l'un des résultats obtenus. La figure 3a montre les mesures de deux tensions d'entrée et de sortie réalisées lors de l'essai. La courbe bleue correspond à la tension d'entrée déformée et l'orange à la tension de sortie corrigée de la phase L1, tandis que la courbe jaune montre la tension d'entrée déformée et la violette la tension de sortie corrigée de la phase L2. La phase L3 n'est pas représentée pour plus de clarté, mais elle a été améliorée de manière analogue. Les tensions d'entrée présentent non seulement des écarts par



**Figure 3** Correction de la valeur efficace, des asymétries et des harmoniques. **(a)** Mesures des tensions d'entrée et de sortie des phases L1 et L2. **(b)** Harmoniques des tensions mesurées.

rapport à la valeur efficace, mais aussi des distorsions dues aux harmoniques. Les tensions de phase respectives ne présentent aucun écart de phase entre l'entrée et la sortie. Les spectres des harmoniques des tensions d'entrée et de sortie (**figure 3b**) montrent que la valeur efficace ainsi que les asymétries entre les tensions de phase peuvent être compensées en grande partie, et que les harmoniques de chaque phase peuvent être

réduites de manière significative. Les valeurs efficaces de tension de la cinquième harmonique sont réduites de 58% et celles de la septième de 40%.

En résumé, les mesures ont montré comment l'électronique de puissance utilisée augmente la stabilité et la qualité du réseau. En général, plus l'ordre est élevé, plus la valeur efficace résiduelle des harmoniques augmente, car la capacité de correction du régulateur

est limitée par la fréquence de commutation des éléments semi-conducteurs et par les propriétés de filtrage des composants (fréquence de passage, atténuation et déphasage). Malgré cette limitation, les avantages sont énormes et contribuent à la réalisation de réseaux d'alimentation plus stables.

### Amélioration de la qualité du réseau sur trois points

La solution présentée permet d'améliorer trois formes de perturbations courantes dans les réseaux de distribution en une forme électronique continue:

- la régulation de la valeur efficace de la tension du réseau à la valeur de consigne souhaitée;
- la compensation des harmoniques de tension des producteurs et/ou consommateurs non linéaires;
- et la réduction des asymétries de tension des gros consommateurs monophasés (par exemple, des stations de recharge ou des installations photovoltaïques monophasées).

Le régulateur de tension est connecté entre un réseau à faible puissance apparente de court-circuit et les consommateurs ou producteurs décentralisés (**figure 4**). Les rapports d'impédance du réseau ne sont pas influencés par l'utilisation de ce régulateur de tension. Le régulateur peut être utilisé en complément des réseaux intelligents pour, en plus du déplacement de charges, corriger la tension et les harmoniques qui proviennent souvent d'appareils et équipements connectés.

Les réseaux de distribution suisses présentent une fiabilité et une stabilité élevées et respectent les limites fixées par les normes EN 50160 et CEI 61000-2-2 pour les écarts de tension, les asymétries et les distorsions. ON Power Technology AG en tant que partenaire industriel principal, SF Elektro-Engineering AG en tant que partenaire technique, et la Haute école spécialisée de la Suisse orientale OST (Ostschweizer Fachhochschule) en tant que partenaire de recherche, ont réalisé ensemble un prototype. Avec Repower AG, un partenaire régional renommé a pu être trouvé dans les Grisons pour un essai sur le terrain. Sur le site d'essai prévu, 10% de la tension phase-neutre (23 V) doivent être compensés pour une puissance de raccordement de 250 kVA, et les cinquième et septième harmoniques doivent être

réduites d'au moins 30%. Pour les clients raccordés, il n'y a actuellement aucune perturbation de la qualité du réseau. Repower souhaite toutefois profiter de l'occasion pour acquérir de l'expérience avec de nouveaux systèmes de compensation. L'entreprise d'approvisionnement énergétique voit également du potentiel dans les solutions basées sur de tels régulateurs électroniques de tension, comme alternatives à une extension onéreuse du réseau ou pour des utilisations temporaires.

Lors de la mise en service en laboratoire, le régulateur a fonctionné avec succès aux points de fonctionnement prédéfinis. Parallèlement au lancement du projet, un système de mesure de la qualité du réseau a été installé dans la zone d'essai de Repower AG. Ces données de mesure ont, d'une part, servi de base pour les essais du régulateur en laboratoire et, d'autre part, elles sont utilisées pour l'évaluation qualitative et quantitative de l'influence du régulateur de tension sur la qualité du réseau.

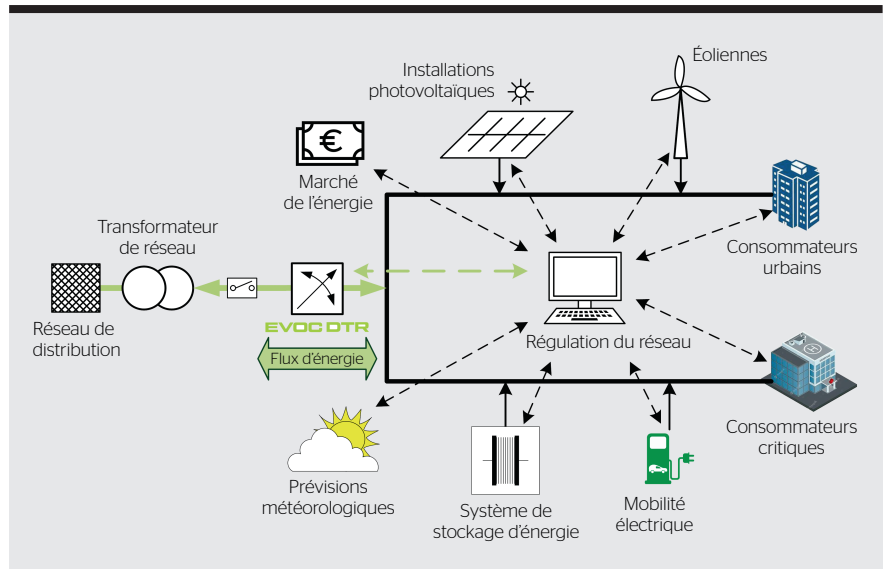
### Du laboratoire au terrain

Les défis croissants dans le domaine des réseaux de distribution exigent des solutions rapides et économiques, et ce, tant pour les gestionnaires de réseaux

## À propos d'Innosuisse

Innosuisse, l'Agence suisse pour l'encouragement de l'innovation, a pour mission de promouvoir l'innovation basée sur la science dans l'intérêt de l'économie et de la société. La promotion de la coopération entre la science et le marché se fait de manière ciblée par le biais de projets d'innovation, de la mise en réseau, de la formation et du coaching, dans l'objectif d'aboutir à la création de start-up suisses prospères ainsi que de produits et services innovants. L'EVOC-DTR est soutenu par Innosuisse pendant 36 mois à hauteur d'environ 320 000 CHF.

[www.innosuisse.ch](http://www.innosuisse.ch)



**Figure 4** Vue d'ensemble de réseaux intelligents avec le régulateur électronique de tension EVOC-DTR.

de distribution que pour les communes et les consommateurs industriels. Avec l'augmentation du nombre de producteurs d'énergie volatils et de consommateurs imprévisibles – par exemple la recharge des véhicules électriques – les systèmes de régulation continus et multifonctionnels peuvent stabiliser les tensions pour les producteurs ou les consommateurs sans modification des réseaux existants.

L'EVOC-DTR (Electronic Voltage Controller for Distribution Transmission) vise à corriger les valeurs efficaces et les asymétries entre les tensions de phase ainsi que les harmoniques. À partir du mois de juillet prochain, le prototype démontrera ses capacités lors de tests sur le terrain. Ces derniers seront accompagnés de mesures afin de démontrer les pleines capacités du régulateur. L'expérience et les résultats accumulés lors de ce projet seront extrêmement précieux pour les futures installations et les futurs clients.

La demande en matière de régulateurs de tension tels que l'EVOC-DTR est élevée. L'entreprise ON Power a reçu des demandes de consommateurs industriels pour des régulateurs de tension dont les puissances de régulation s'étendent de 30 kVA à 2 MVA. Ces dernières permettent de stabiliser des réseaux d'alimentation jusqu'à une puissance de 10 MVA, selon la régula-

tion de la tension. Les demandes proviennent, entre autres, d'Inde ou d'Amérique latine, où les réseaux de distribution sont souvent faibles dans les zones rurales. Ce concept de régulation peut également être appliqué au niveau de la moyenne tension, avec des puissances de réseau plus importantes. Dans cet objectif, d'autres concepts seront développés à l'avenir.

### Références

- [1] A. Mohammed, S. S. Refaat, S. Bayhan, H. Abu-Rub, « AC Microgrid Control and Management Strategies: Evaluation and Review », IEEE Power Electronics Magazine, juin 2019.
- [2] B. Girardi, K. Schenk, « Continuously Variable Controlled Transformer for Grid Voltage Stabilization », in PCIM Europe 2019, International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management, Nuremberg, 2019.

### Auteurs

**Bernhard Girardi** est ingénieur en électronique de puissance à l'Institut de systèmes énergétiques IES de la Haute école spécialisée de la Suisse orientale OST.  
→ Ostschweizer Fachhochschule, 9471 Buchs  
→ [bernhard.girardi@ost.ch](mailto:bernhard.girardi@ost.ch)

**Eugen M. Jakob** est directeur technique d'ON Power Technology AG.  
→ ON Power Technology AG, 8890 Flums SG  
→ [eugen.jakob@onpowertech.ch](mailto:eugen.jakob@onpowertech.ch)

**Christoph Fehr** est ingénieur en électronique de puissance à l'Institut de systèmes énergétiques IES de l'OST.  
→ [christoph.fehr@ost.ch](mailto:christoph.fehr@ost.ch)

**Simon Nigsch** est responsable du secteur Systèmes énergétiques électriques à l'Institut de systèmes énergétiques IES de l'OST.  
→ [simon.nigsch@ost.ch](mailto:simon.nigsch@ost.ch)