

Énergies renouvelables

Utiliser la force de la nature de manière sûre et efficace



Design the future
of energy



4

Solutions pour la sécurité électrique
et la haute disponibilité

5

Éoliennes

6

Grandes installations PV

10

Le réseau IT en tant que réseau
d'alimentation électrique

12

Faible niveau d'isolement -
Défi et solution

14

Les systèmes de stockage d'énergie
par batterie



Solutions pour la sécurité électrique et la haute disponibilité

Sécurité et efficacité pour les énergies renouvelables

Les énergies renouvelables sont l'élément central d'un approvisionnement énergétique durable et respectueux du climat. Les exploitants d'installations photovoltaïques, éoliennes, hydroélectriques et de biogaz doivent optimiser l'utilisation des ressources naturelles tout en respectant les normes de sécurité les plus strictes.

Les risques électriques ou les temps d'arrêt imprévus peuvent compromettre de manière significative la disponibilité des installations.

Nos solutions fiables et éprouvées dans le monde entier, sont spécialement conçues pour répondre aux exigences des installations utilisant des énergies renouvelables :

- détecter à temps les dangers électriques potentiels
- garantir la sécurité des personnes et des installations
- identifier immédiatement les états de fonctionnement critiques
- minimiser les risques de panne et les interruptions de fonctionnement
- assurer une disponibilité élevée des installations par des interventions préventives
- gérer les données de mesure des installations



Éoliennes

Détection précoce au lieu de l'arrêt

Pour les exploitants d'éoliennes, la disponibilité maximale et la fiabilité opérationnelle sont des priorités absolues. Toute panne inattendue se traduit par des pertes financières et des frais de maintenance supplémentaires. En raison de leur situation exposée et des conditions de maintenance difficiles, les parcs éoliens offshore en particulier requièrent un haut degré de fiabilité opérationnelle.

La sécurité électrique joue ici un rôle déterminant. Des défauts d'isolement non détectés peuvent non seulement entraîner des arrêts soudains, mais aussi augmenter significativement le risque d'incendie. En outre, les interventions de maintenance imprévues entraînent des coûts élevés car l'accès aux installations, en particulier dans le cas des parcs éoliens offshore, n'est possible qu'au prix d'efforts logistiques considérables.

La cause la plus fréquente des défauts d'isolement ou des courants résiduels sont des isolations défectueuses dues à :

- des dommages mécaniques des câbles en raison de :
 - vibrations
 - torsions
 - variations extrêmes de température
- courants vagabonds causés par :
 - de l'humidité
 - des huiles de transmission et huiles hydrauliques
 - de la saleté
- la foudre et aux dommages qui en découlent

Les courants résiduels ou les défauts d'isolement ont le plus souvent des conséquences graves telles que :

- des coûts élevés dus à l'interruption de l'exploitation
- un risque d'incendie accru
- la défaillance de systèmes critiques pour la sécurité
- des mesures de maintenance non planifiées
- le déclenchement inattendu de dispositifs de protection
- la mise en danger du personnel de maintenance

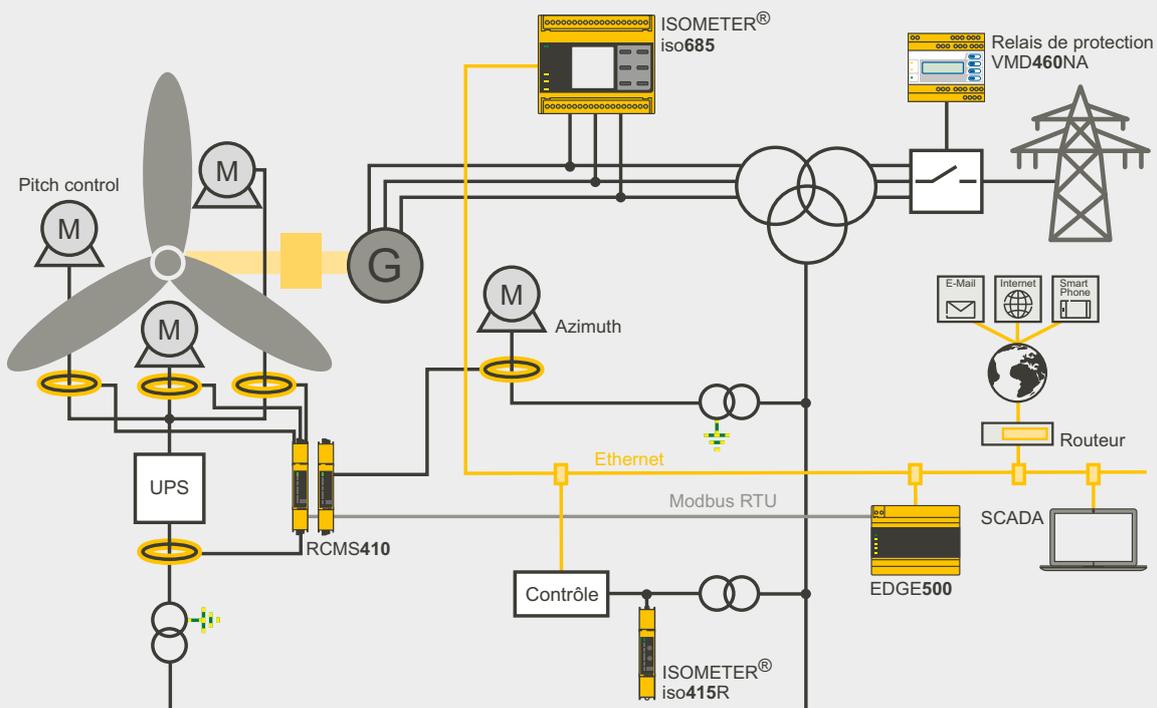


Figure 1 : Représentation d'une installation d'énergie éolienne

Grandes installations PV

Mesures de protection requises et exigences normatives

Les installations photovoltaïques posent des exigences particulières en matière de sécurité électrique, notamment en cas d'urgence. Étant donné que les générateurs PV produisent de l'énergie électrique en continu pendant la journée, une mesure de protection consistant en une coupure automatique ne peut être envisagée – les installations sont sous tension presque 24 heures sur 24 et ne sont mises hors tension qu'à la tombée de la nuit.

La seule mesure de protection efficace est donc une double isolation renforcée conformément à la norme DIN VDE 0100-410 (CEI 60364-4-41), section 412, en combinaison avec une surveillance permanente de l'installation. La norme DIN VDE stipule :

„Si cette mesure de protection doit être utilisée comme seule mesure de protection (c'est-à-dire si l'ensemble d'une installation ou d'un circuit est destiné à ne comprendre que des matériels à isolation double ou renforcée), il doit être vérifié que des mesures efficaces, par exemple par une surveillance adaptée, sont appliquées de façon à empêcher toute modification susceptible de compromettre l'efficacité de la mesure de protection.“

Afin de répondre à cette exigence, une surveillance continue de la résistance d'isolement est nécessaire. La gamme ISOMETER® de Bender permet de mesurer et de visualiser la résistance d'isolement en fonction du temps.

Malgré les contrôles approfondis effectués dans le cadre de l'homologation des modules PV conformément à la norme DIN VDE 0100-712 (CEI 60364-7-712) – „Installations électriques à basse tension – Partie 7-712 : Exigences applicables aux installations ou emplacements spéciaux – Installations d'énergie solaire photovoltaïque (PV)“ – de nouveaux points faibles apparaissent régulièrement dans la construction et l'exploitation des installations PV.

Grâce à une surveillance des mesures, l'exploitant bénéficie d'une avance informationnelle décisive et peut ainsi détecter à temps les états critiques avant qu'ils n'entraînent de graves problèmes.

+	-	+	-	+	-
-	+	-	+	-	+
+	-	+	-	+	-
-	+	-	+	-	+
		+	-	+	-
		-	+	-	+
		+	-	+	-
		-	+	-	+

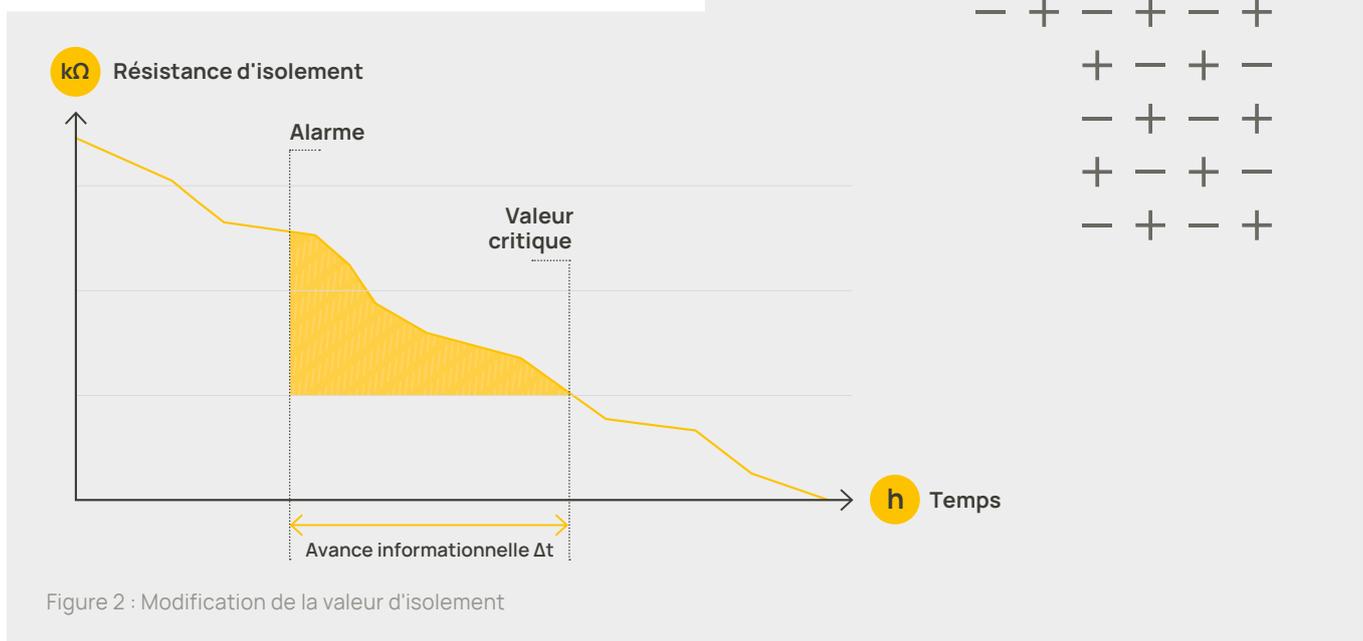


Figure 2 : Modification de la valeur d'isolement



Exemple pratique :

Dans une installation PV de 15 MW récemment construite, comprenant plusieurs chaînes de production d'une puissance respective de 1,7 MW, l'humidité matinale a multiplié par 10 la capacité de fuite C_e des chaînes et a parallèlement réduit la résistance d'isolement R_f de 30%. En partant du principe que les processus de vieillissement sous forme d'usure des matériaux auront à l'avenir un impact négatif sur la valeur d'isolement, des valeurs critiques peuvent rapidement être atteintes.

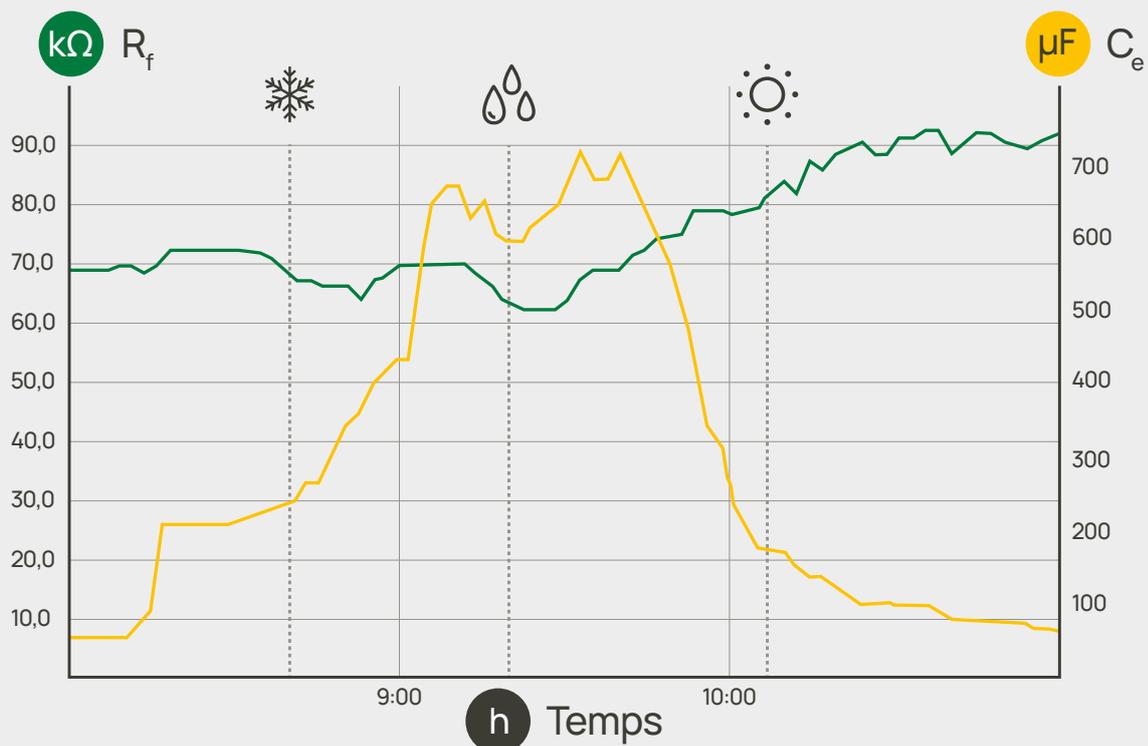


Figure 3 : Valeurs mesurées de la résistance d'isolement et capacité de fuite

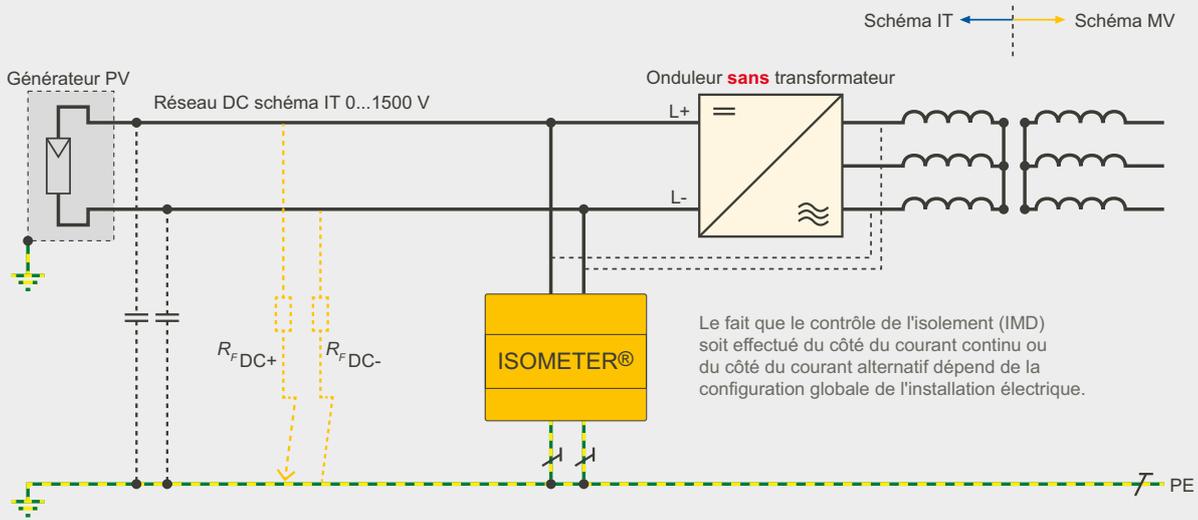


Figure 4 : Onduleur **sans** transformateur

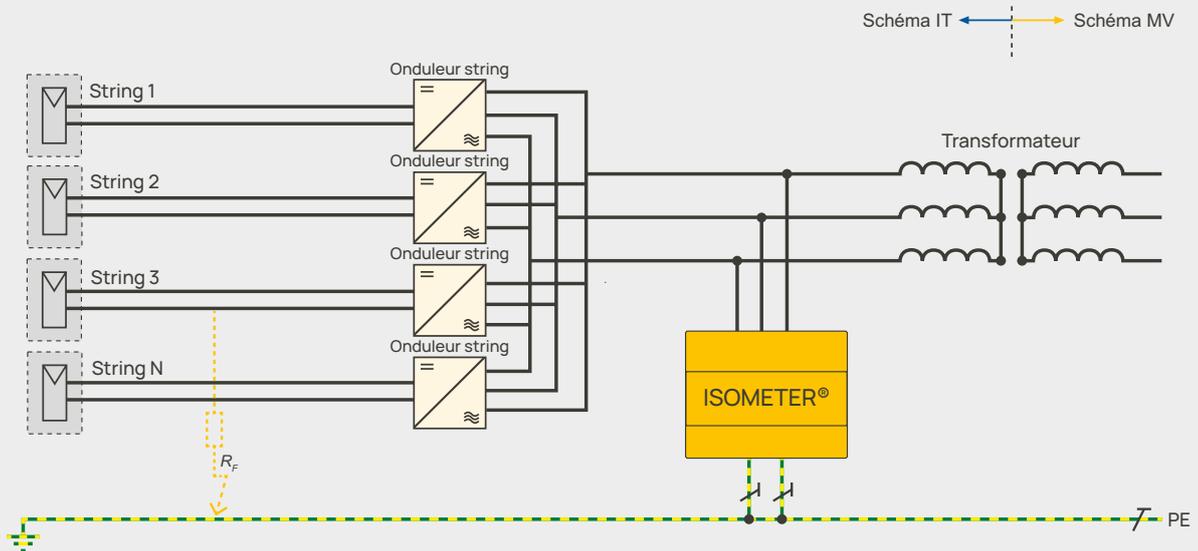


Figure 5 : Onduleurs de chaîne individuels décentralisés (Onduleur string)





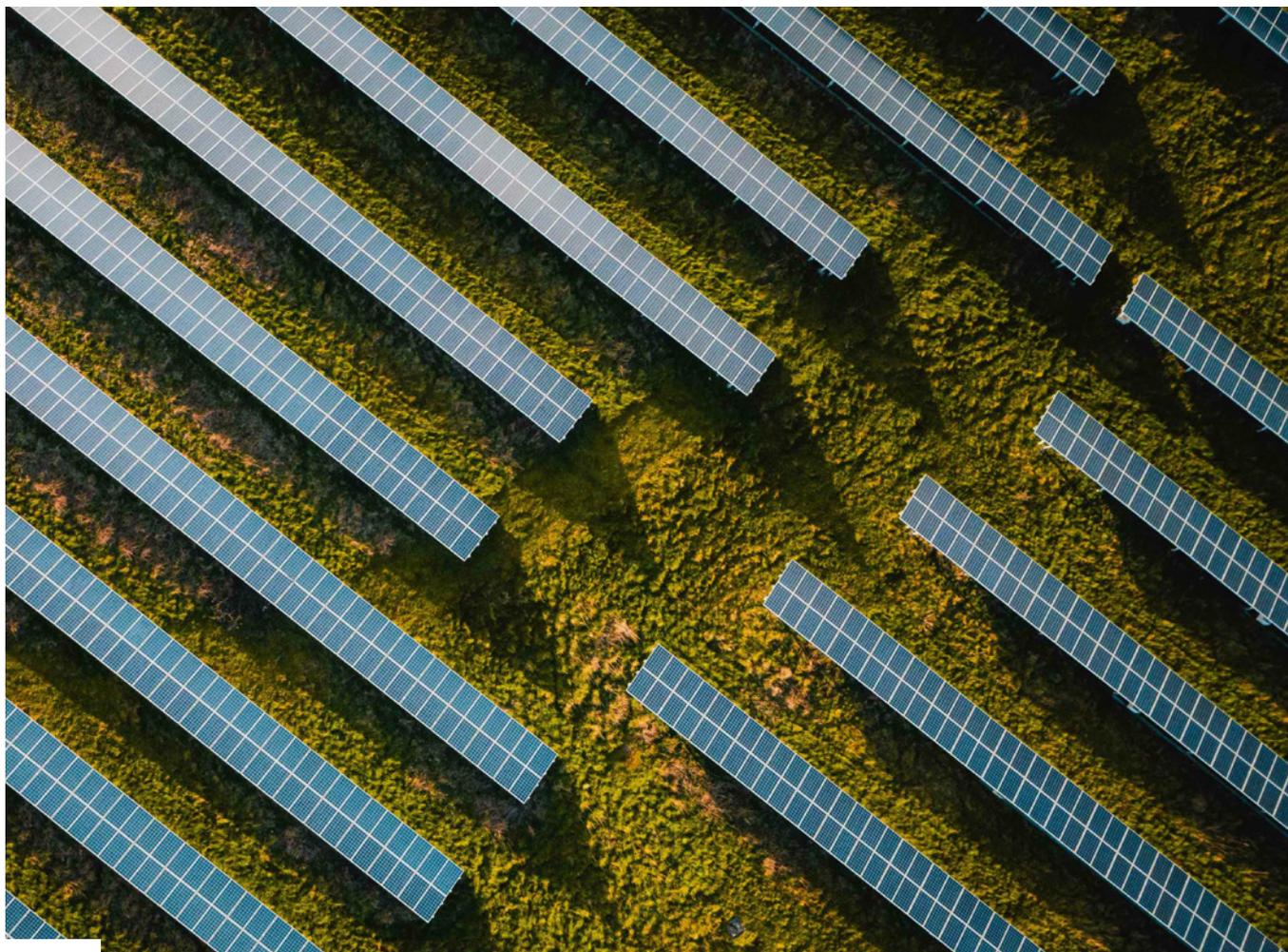
Le réseau IT en tant que réseau d'alimentation électrique

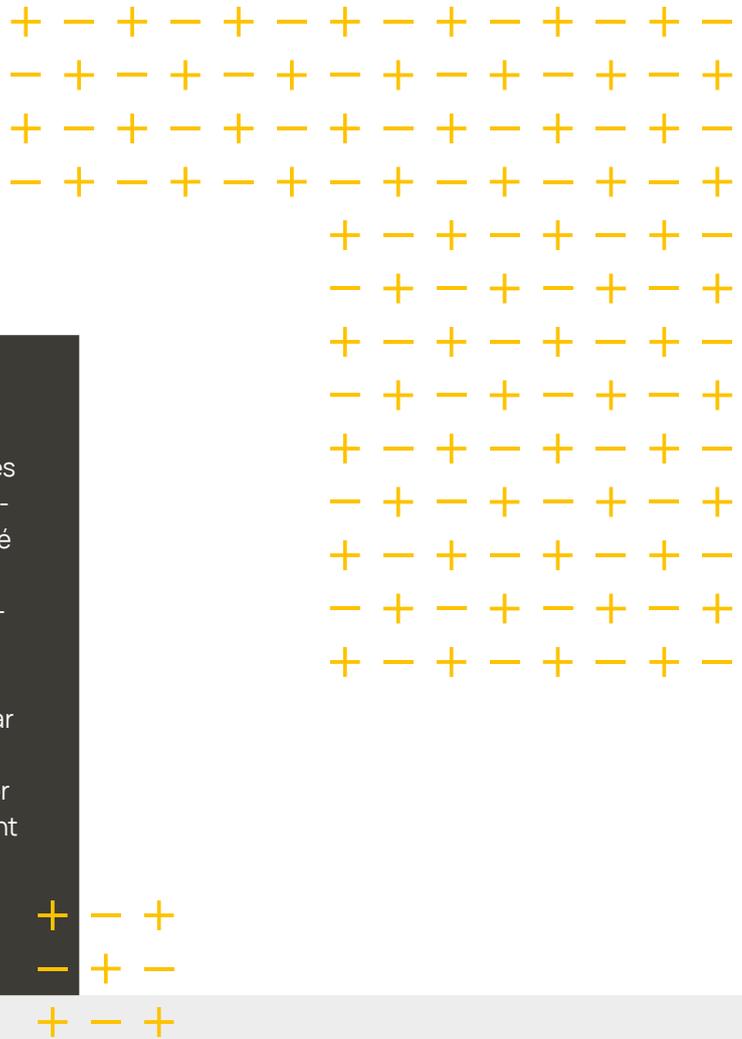
Les installations photovoltaïques sont généralement construites en schéma IT (Isolé Terre; sans liaison galvanique des conducteurs actifs à la terre). Les raisons en sont à la fois la simplicité du câblage et une plus grande disponibilité, car dans les réseaux IT, le premier défaut ne doit pas provoquer la déconnexion ou l'interruption de l'exploitation. Les installations photovoltaïques de grande envergure de l'ordre de plusieurs mégawatts [MW] sont divisées en chaînes individuelles. Ces chaînes disposent soit d'onduleurs de chaîne individuels (Figure 5), soit sont raccordées à un onduleur central (Figure 6). En général, les onduleurs sont conçus – en fonction de la puissance et de l'application – avec ou sans transformateur (Figure 4). Lorsque l'ensoleillement est suffisant, une brève mesure de l'isolement est effectuée à l'intérieur de l'onduleur de chaîne et ce n'est qu'ensuite que l'installation passe en « mode réseau ».

Le réseau IT s'étend alors des panneaux photovoltaïques à l'enroulement secondaire du transformateur. Un contrôleur d'isolement central (CPI), comme le montrent les figures 5 et 6, surveille le niveau d'isolement de l'ensemble du réseau IT pendant le « fonctionnement de l'installation ».

PID – Dégradation induite par le potentiel

L'effet PID affectant les modules PV avec cellules au silicium cristallin entraîne une diminution insidieuse de la puissance (dégradation) qui peut atteindre des valeurs critiques au fil du temps et réduire considérablement le rendement. La contre-mesure connue consistant à augmenter le potentiel du générateur PV après le coucher du soleil n'est pas en contradiction avec une surveillance centralisée de l'isolement au moyen d'un CPI, car l'onduleur n'est plus en service sur le réseau à ce moment-là.





Une méthode de mesure complexe

Par rapport au potentiel de terre PE, les câbles conducteurs de courant du réseau IT constituent une sorte de condensateur. La capacité de fuite du réseau C_e qui en résulte et les propriétés capacitives des panneaux photovoltaïques génèrent un courant de fuite du réseau. Celui-ci est influencé de manière déterminante par la surface totale $[m^2]$ et par l'humidité de l'installation. Les dispositifs de mesure de l'isolement ISOMETER® de Bender utilisent une méthode de mesure spécialement développée pour cette application et s'adaptent à l'état de l'installation pour déterminer la résistance d'isolement R_f .

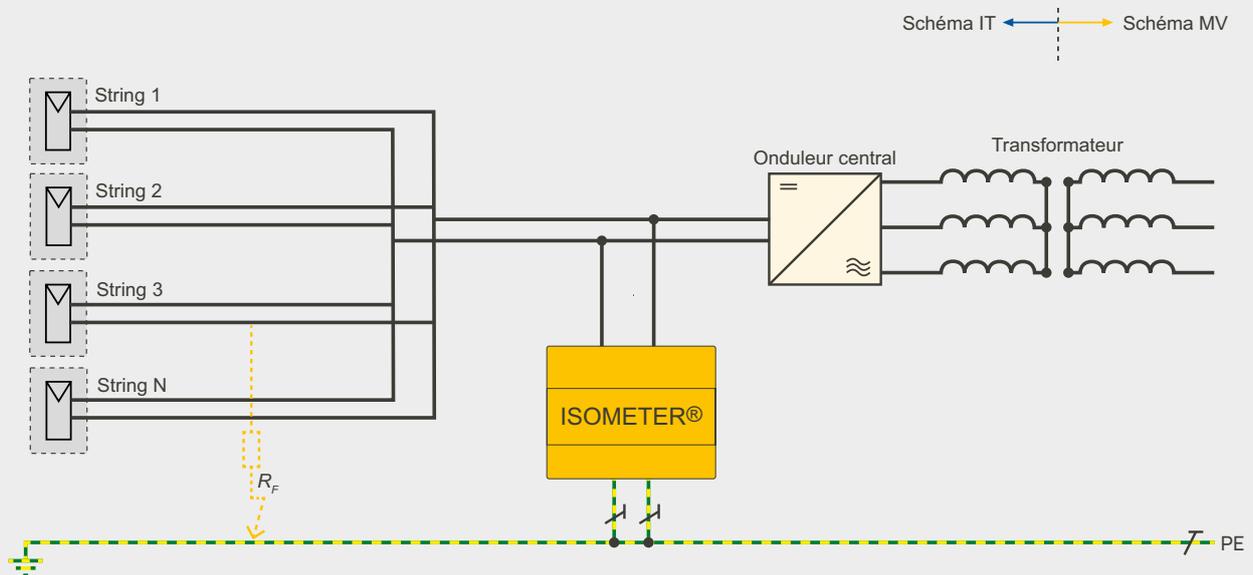


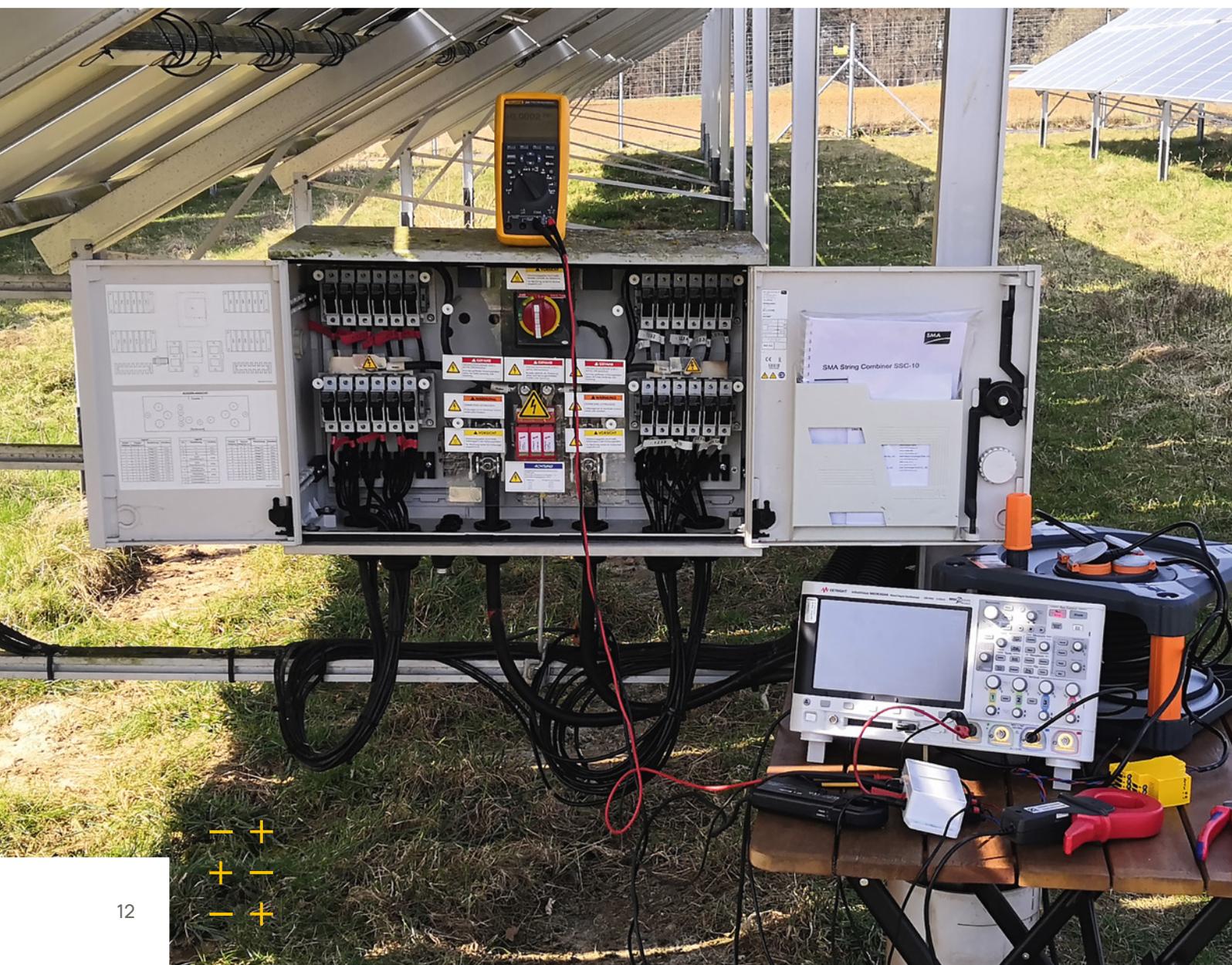
Figure 6 : Onduleur central

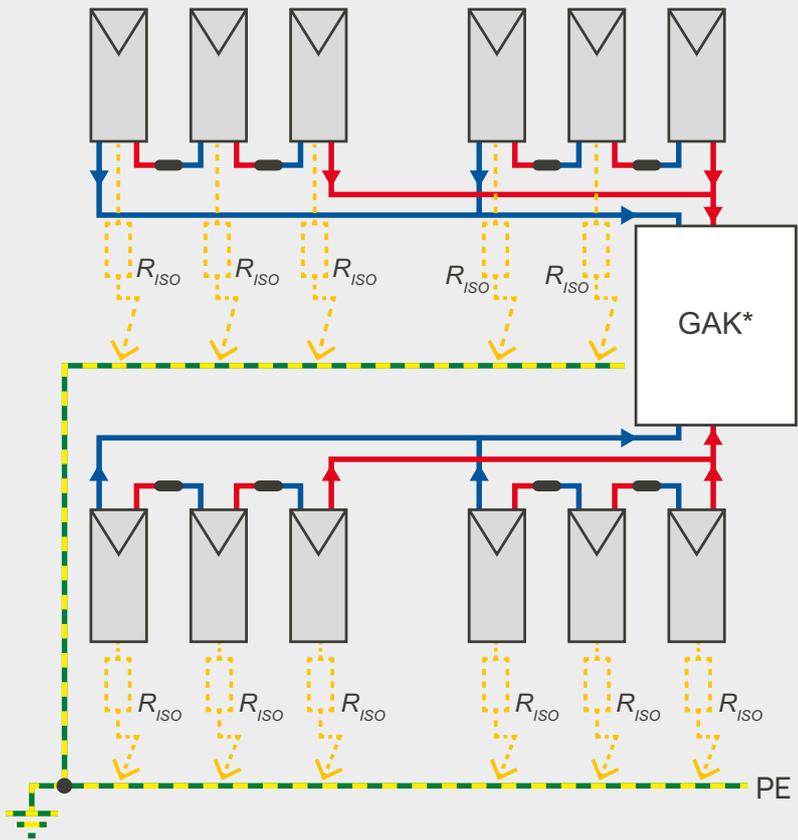
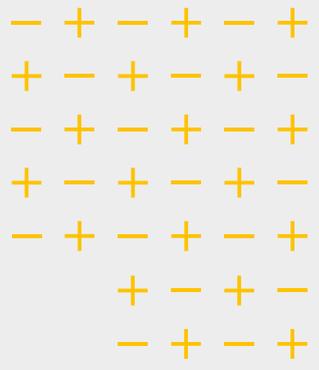
Faible niveau d'isolement – Défi et solution



Les installations photovoltaïques se composent d'un grand nombre de modules qui sont connectés électriquement en série et en parallèle. Par rapport à la terre, il en résulte toutefois une mise en parallèle de la résistance d'isolement, ce qui réduit considérablement le niveau d'isolement global de l'installation. Selon la norme CEI 61215, la résistance d'isolement minimale d'un seul module PV est d'au moins $40 \text{ M}\Omega \cdot \text{m}^2$. Dans les parcs solaires de grande envergure, d'une puissance de plusieurs mégawatts, cette valeur peut toutefois chuter à quelques $\text{k}\Omega$ en raison du nombre élevé de modules PV.

La surveillance fiable de la résistance d'isolement est essentielle pour détecter à temps les défauts et minimiser les risques de sécurité. Les ISOMETER® de la série isoPV de Bender offrent des mesures précises et continues permettant de déterminer l'état de l'isolement. Notre technologie garantit une sécurité et une disponibilité maximales – un avantage décisif pour l'exploitation sûre et efficace des grandes installations photovoltaïques.





*Coffrets de raccordement des générateurs

Figure 7 : Exemple de résistance d'isolement R_{ISO}

1. Les résistances d'isolement des différents modules PV constituent un circuit parallèle à la terre et s'additionnent selon la loi d'Ohm.
2. La résistance totale de l'ensemble de l'installation PV diminue avec le nombre de modules PV.
3. Selon la norme internationale CEI 61215, la **résistance d'isolement minimale** d'un module PV doit être $\geq 40 \text{ M}\Omega \cdot \text{m}^2$.



Exemple :

Une centrale solaire de 5 MW composée de modules PV d'une puissance de 400 W chacun.

Surface d'un module PV : $1\text{m} \times 2\text{m} = 2\text{m}^2$ / Puissance nominale : 400W

$$R_{ISO} = \frac{40\text{M}\Omega \cdot \text{m}^2}{2\text{m}^2} = 20\text{M}\Omega \text{ (par module)}$$

$5\text{MW} / 400\text{W} = 12,500$ modules (200MΩ par module)*

*L'expérience montre que les nouveaux modules ont une valeur 10 fois supérieure

$$R_{ISO} = \frac{1}{\frac{1}{R_{\text{module (1)}}} + \frac{1}{R_{\text{module (2)}}} + \frac{1}{R_{\text{module (n)}}}} = 16\text{k}\Omega!$$

Dans le meilleur des cas, le R_{ISO} d'un parc solaire de 5 MW nouvellement installé est d'environ 16kΩ.

Systèmes de stockage par batterie

Avec la demande croissante en énergie respectueuse de l'environnement, la production d'électricité et les réseaux intelligents ne cessent d'évoluer. Les progrès réalisés dans le domaine du photovoltaïque et de la technologie de stockage par batterie ouvrent de nouvelles possibilités, mais posent en même temps des exigences élevées en matière de protection du personnel et des installations.

Les systèmes de stockage d'énergie par batterie (SSEB) sont généralement réalisés sous forme de réseaux non mis à la terre (schéma IT), dans lesquels tous les conducteurs actifs sont volontairement isolés de la terre. Cette configuration permet aux installations de continuer à fonctionner même en cas de premier défaut à la terre. Il est néanmoins essentiel de détecter, de signaler et d'éliminer ce défaut à un stade précoce. En effet, si le défaut persiste, un deuxième défaut peut conduire à une situation de surintensité dangereuse et mettre en péril la sécurité de toute l'installation.

Les avantages

Détection des défauts sans interruption de l'exploitation

Les défauts d'isolement ou les problèmes de rupture d'isolation peuvent être détectés à un stade précoce et localisés avec précision et ce, sans interruption du fonctionnement de l'installation.

Réduction des coûts de maintenance

La grande précision de la détection des défauts réduit le besoin d'interventions manuelles et minimise donc considérablement les coûts de maintenance.

Localisation automatique des défauts

Grâce à la localisation automatisée des défauts, il n'est plus nécessaire d'ouvrir les interrupteurs de dérivation ou de mettre les appareils hors tension. Cela permet de gagner du temps et de réduire les risques pendant l'analyse des défauts sur le site.

Sécurité accrue

La localisation précise des défauts de terre sur les piles ou les branches de batteries minimise le risque d'électrocution pour les employés. De plus, une réparation rapide contribue à éviter les incendies et autres dommages.



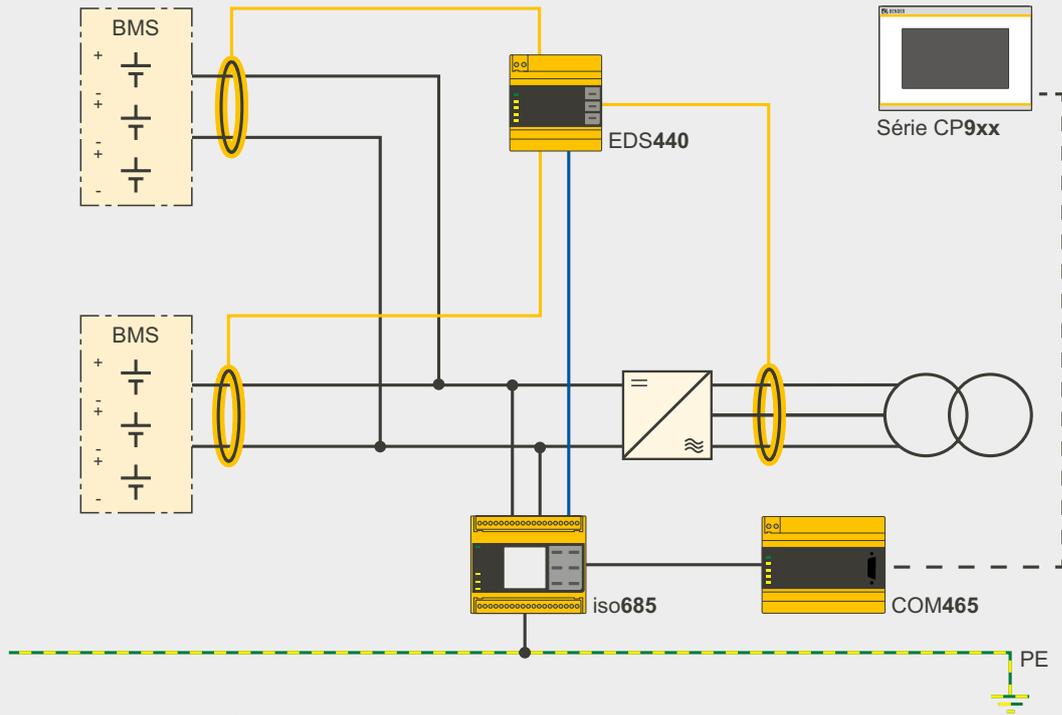


Figure 8 : Exemple de réseau non mis à la terre

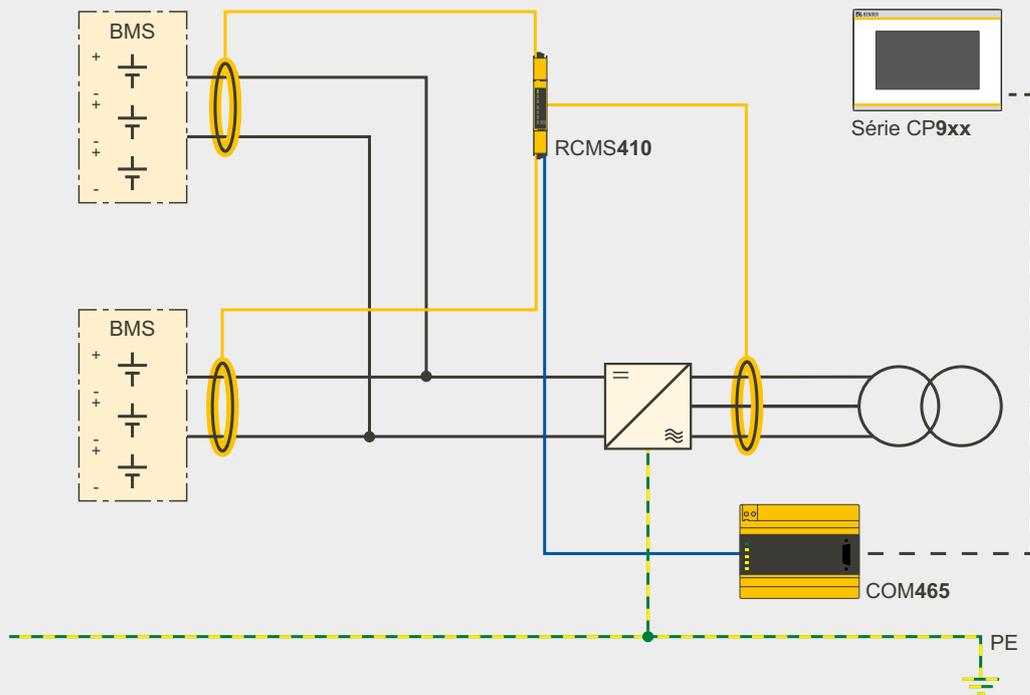
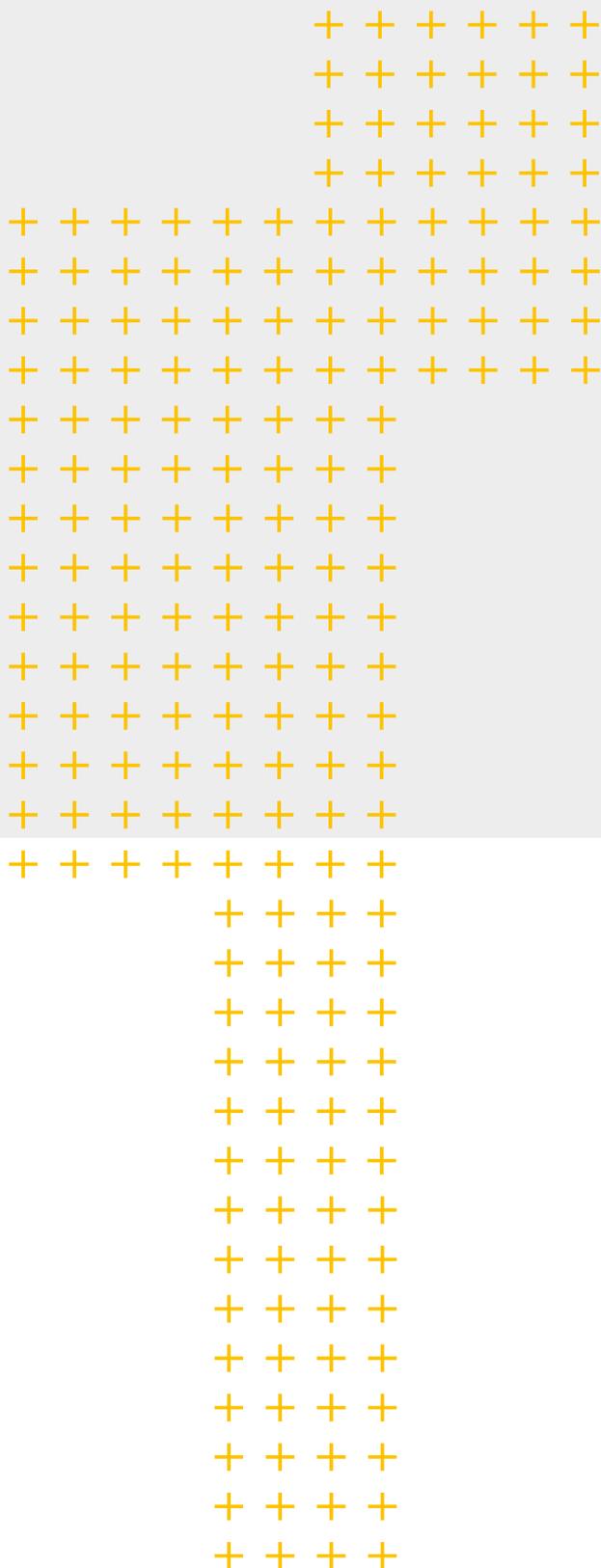


Figure 9 : Exemple de réseau mis à la terre



Bender GmbH & Co. KG

Londorfer Straße 65
35305 Grünberg
Allemagne

Tél. : +49 6401 807-0
info@bender.de
www.bender.de/fr/

Photos : AdobeStock (@Mike Mareen, @mimadeo, @malp,
@Clayton D/peopleimages.com, @Kampan, @Benoît,
@phonlamaipphoto) et archives Bender.

2162fr / 03.2025 / © Bender GmbH & Co. KG, Allemagne -
Sous réserve de modifications ! Les normes indiquées tiennent
compte de l'édition valable au moment de l'impression.

