

# Modernisation du réseau électrique

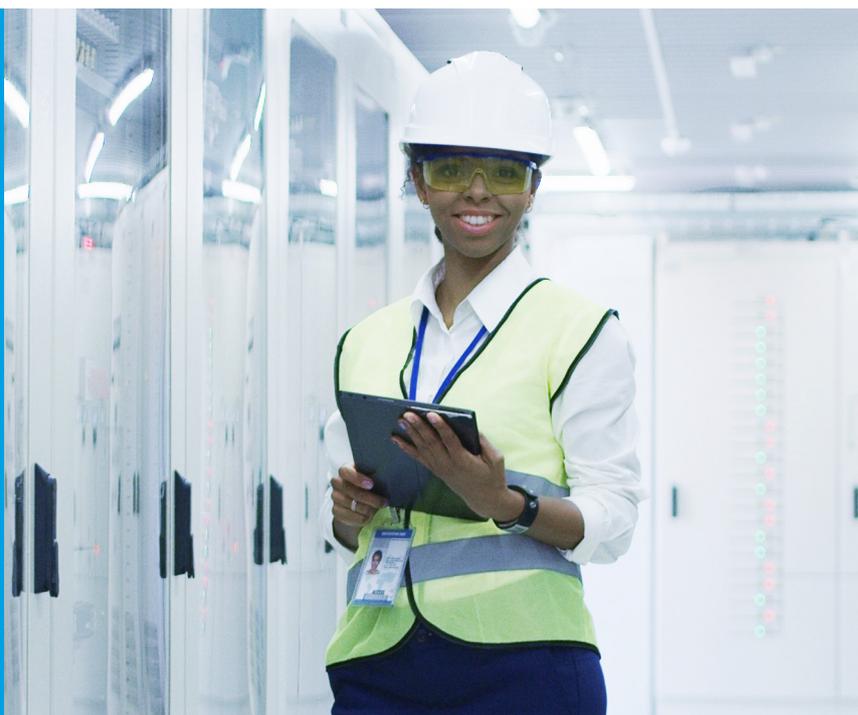
## Guide d'introduction pour les enseignants

**FESTO**



## Le réseau électrique est en constante évolution : qu'en est-il de vos programmes de formation ?

Ce guide d'introduction, principalement destiné aux enseignants et aux instructeurs dans le domaine du génie électrique, fournit des informations de base sur la modernisation des réseaux électriques et son impact sur les besoins en formation, de même que sur les compétences des travailleurs actuels et futurs. Il donne également des conseils pour combler l'écart entre les programmes scolaires et les exigences de l'industrie.



## Table des matières

Modernisation du réseau électrique : avantages et défis . . . . .	03
Travailleurs qualifiés demandés, partout dans le monde . . . . .	04
Principaux changements qui façonnent le réseau électrique . . . . .	05
Évolution des profils d'emploi et des prérequis scolaires . . . . .	06
Nouvelles compétences requises pour les travailleurs . . . . .	07
Cinq clés de la réussite de la formation . . . . .	08
Principaux points à retenir . . . . .	10
Sources . . . . .	11

# Modernisation du réseau électrique : avantages et défis

**L'exploitation de l'énergie électrique est l'une des plus grandes avancées technologiques de l'humanité.** L'électricité imprègne pratiquement tous les aspects de notre vie et constitue la condition préalable à notre monde interconnecté et numérique.

Pour produire et fournir de l'électricité aux consommateurs domestiques, commerciaux et industriels, nous avons développé des infrastructures complexes (centrales électriques, lignes de transmission, sous-stations, etc.) qui font partie d'un concept plus vaste : le réseau électrique. Depuis la fin du XIXe siècle, le réseau électrique se caractérise par un modèle de haut en bas : de grandes centrales électriques produisent l'énergie de manière centralisée et desservent des clients passifs via un réseau de distribution unidirectionnel. Ce modèle comporte toutefois des risques, tels que le manque de surveillance et de contrôle, les pertes d'énergie, les pannes et les coupures d'électricité.

Sous la pression de la demande croissante d'électricité, de la hausse des coûts énergétiques et des défis environnementaux urgents, les réseaux électriques doivent évoluer, d'abord pour remplacer les équipements vieillissants, mais surtout pour repenser la façon dont l'énergie est produite, transmise, distribuée, stockée, commercialisée et utilisée. Les réseaux électriques sont en pleine modernisation ; ils deviennent plus « intelligents ».

Le réseau intelligent peut être défini comme un réseau électrique qui a été numérisé pour permettre une communication bidirectionnelle entre les producteurs et les consommateurs d'électricité. Ceci est principalement réalisé par l'intégration de technologies avancées de communication, de contrôle et de capteurs.

**Une fiabilité, une efficacité et une résilience accrues, ainsi qu'une sécurité et une durabilité améliorées** comptent parmi les avantages des réseaux intelligents. Un personnel qualifié est nécessaire pour innover et mener efficacement la modernisation des réseaux électriques. Les changements, particulièrement la digitalisation, dans le réseau électrique ont un impact considérable sur les besoins en formation et en compétences. Le domaine de la technologie de l'énergie électrique offre des opportunités de carrière variées et stimulantes.

Les enseignants et les instructeurs sont en première ligne pour développer une main-d'œuvre capable de concevoir, de déployer et d'exploiter avec succès le réseau électrique intelligent. Les cours et les programmes de formation doivent être actualisés ou développés. En même temps, les modes de consommation de l'éducation et les attentes des étudiants changent également, avec l'apprentissage en ligne et l'apprentissage tout au long de la vie parmi les tendances lourdes.

**C'est un contexte exigeant, mais passionnant, pour l'enseignement du génie électrique !**



## Défis des enseignants

- Attirer et retenir de nouveaux étudiants dans un domaine souvent perçu comme désuet
- Former un large éventail de travailleurs ayant des formations, des expériences et des objectifs de carrière variés
- Offrir des possibilités de formation pour mettre à jour et améliorer les compétences des travailleurs actuels
- Actualiser les programmes scolaires qui, souvent, ne parviennent pas à suivre le rythme des évolutions technologiques

## Travailleurs qualifiés demandés, partout dans le monde

L'électricité étant un vecteur de développement économique et social, de nombreux gouvernements et compagnies d'électricité accélèrent les investissements de modernisation des réseaux électriques. Les objectifs qui sous-tendent les différents programmes, qu'ils soient publics, privés, ou un mélange des deux, convergent : meilleure gestion de l'énergie et un accroissement de l'efficacité, de la résilience et de la fiabilité des infrastructures, ainsi que des effets positifs sur l'environnement.



### Un échantillon d'investissements

États-Unis : 110 milliards d'ici 2024  
Canada : 99 milliards d'ici 2030  
Amérique du Sud : 18.1 milliards d'ici 2030  
Allemagne : 23.6 milliards d'ici 2026  
Chine : 77.6 milliards d'ici 2026  
Australie/Nouvelle-Zélande : 18.1 milliards d'ici 2027  
Moyen-Orient/Afrique du Nord : 17.6 milliards d'ici 2027  
Afrique subsaharienne : 141 milliards d'ici 2030  
(en dollars américains)

### Exemples d'initiatives et de projets

- Recovery Act Smart Grid Program (États-Unis)
- Smart Grid Program (Canada)
- Smart Grid Vision and Routemap (Royaume-Uni)
- The Energy Transition (Allemagne)
- 5G Smart Grid Project (Chine)
- Smart Cities and Suburbs Program (Australie)
- National Smart Grid Mission (Inde)
- Smart Grid Programme (Afrique du Sud)
- PRODESEN 2019-2033 (Mexique)

# Principaux changements qui façonnent le réseau électrique

Selon l'Agence Internationale de l'Énergie, les investissements mondiaux annuels dans les réseaux électriques ont oscillé entre 250 et 300 milliards de dollars au cours des cinq dernières années. L'expansion des infrastructures de réseau est importante pour accroître l'électrification dans plusieurs régions du monde, mais il existe plusieurs autres types d'investissements pour moderniser les réseaux.

## Améliorations générales

- Doubler les équipements critiques (redondance)
- Normes d'interopérabilité et de cybersécurité tout en améliorant la protection et la confidentialité des données et des infrastructures
- Mise en place de micro-réseaux pour répondre aux besoins énergétiques d'une zone géographique spécifique

## Distribution

- Installation de systèmes d'automatisation des sous-stations (SAS) pour contrôler à distance les opérations
- Mise à jour des systèmes de commutation des sous-stations

## Contrôle et communications

- Installation d'une unité de mesure de phase (PMU) et de systèmes de contrôle et d'acquisition de données de surveillance (SCADA)
- Utilisation de régulateurs unifiés de flux d'énergie (UPFC) pour le contrôle dynamique du flux d'énergie
- Intégration de relais de protection numériques avec capacité de communication, clé des réseaux autoréparables

## Production

- Une plus grande production d'énergie à partir de sources renouvelables (soleil, vent, eau...)
- Augmentation de la production d'énergie domestique raccordée au réseau pour la production à petite échelle

## Transmission

- Intégration de compensateurs statiques VAR (SVC) et synchrones (STATCOM) pour diminuer les pertes d'énergie et les fluctuations de tension
- Compensation en série fixe (FSC) pour augmenter la capacité des lignes
- Compensation série contrôlée par thyristors (TCSC) pour des réglages dynamiques à distance de la puissance
- Mise en œuvre de systèmes de transmission à haute tension et à courant continu (HVDC) pour minimiser les pertes de puissance sur de longues distances

## Stockage et utilisation

- Développement et intégration de la réponse à la demande et des ressources du côté de la demande
- Installation massive de compteurs intelligents
- Technologies avancées de stockage d'énergie et d'écrêtement des pointes, y compris les véhicules électriques et hybrides rechargeables



**Pour un retour sur investissement optimal, une main-d'œuvre qualifiée est nécessaire pour mettre en œuvre les changements et utiliser pleinement les technologies.**

# Évolution des profils d'emploi et des prérequis scolaires

Les réseaux électriques sont plus que des infrastructures techniques : ils constituent également un écosystème complexe de professionnels interdépendants. La modernisation des réseaux électriques crée de nouveaux emplois et transforme les emplois existants dans plusieurs domaines : ingénierie, installation, maintenance et réparation, production, gestion des données, informatique et informatique en nuage, gestion, etc.



## Professions qui requièrent des connaissances générales

- Architectes, concepteurs de bâtiments, urbanistes
- Cadres et supérieurs hiérarchiques (général, opérations, ventes, informatique, finances, ingénierie...)
- Analystes d'affaires et de données
- Spécialistes du droit et de la réglementation
- Travailleurs de la communication et des relations publiques
- Service à la clientèle et représentants commerciaux



## Professions qui requièrent une formation technique

- Ingénieurs (électricité, électronique, informatiques, civil et mécanique)
- Employés de terrain (électriciens, installateurs de lignes, personnel de réparation et d'entretien des équipements, monteurs, opérateurs...)
- Spécialistes de l'informatique, des télécommunications, de la cybersécurité et de l'interopérabilité
- Développeurs de logiciels et programmeurs

Divers programmes d'études peuvent déboucher sur une carrière en lien avec le réseau intelligent. Les programmes de formation traditionnels traitant de ce sujet se donnent principalement dans les départements de génie et de technologie des collèges et universités.

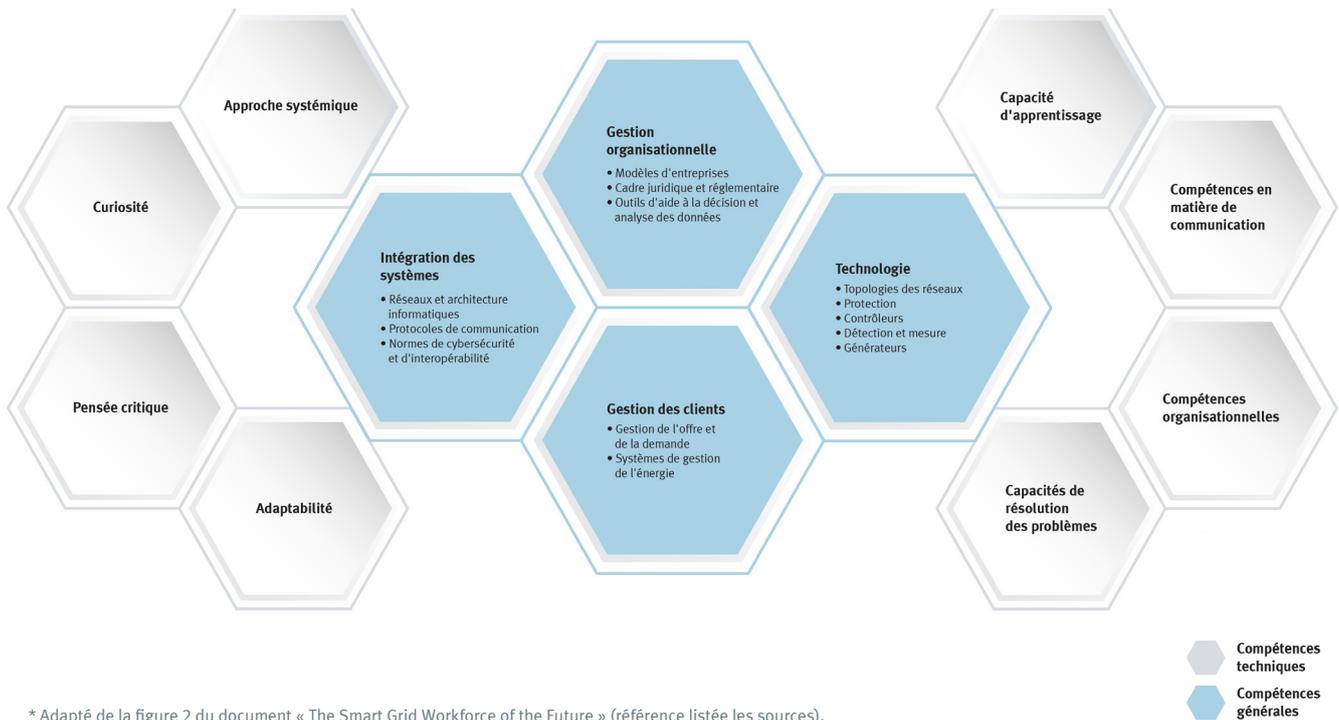
Toutefois, étant donné l'importance croissante des réseaux intelligents et des énergies propres, davantage de programmes de formation sur le réseau intelligent, de courte ou longue durée, et d'autres variantes, comme les programmes sur les énergies renouvelables ou les programmes de mobilité électrique, sont créés pour former de nouveaux spécialistes des réseaux électriques ou améliorer leurs compétences, avec des cours abordant spécifiquement les nouvelles technologies.

De nombreux programmes de formation sont créés pour répondre aux besoins de l'industrie. En rapprochant le contenu des cours de la réalité et des exigences du marché du travail, les programmes sur les réseaux intelligents garantissent que la future main-d'oeuvre est qualifiée et dotée d'une bonne compréhension de la réalité et des défis de l'industrie. Ces programmes abordent de nombreux sujets liés au réseau intelligent, tels que les compteurs intelligents, l'intégration des énergies renouvelables, et bien d'autres encore. Les formations ont lieu en milieu scolaire, mais aussi chez des fournisseurs de formation externes, ainsi que dans des centres de formation de compagnies électriques.

Davantage de cours et de certifications répondent également aux besoins des travailleurs non techniques afin de leur présenter ce qu'ils ont besoin de savoir pour acquérir une vue d'ensemble. Par exemple, certains cours ou séminaires de base peuvent durer quelques semaines ou quelques jours. Ensuite, des parcours d'apprentissage plus approfondis peuvent être suivis à différents niveaux d'enseignement afin de familiariser les travailleurs avec la réalité locale et le profil d'emploi visé. Très souvent, ces programmes sont développés ou remaniés en collaboration avec les compagnies locales d'électricité afin de répondre aux exigences du marché et aux attentes futures.

# Nouvelles compétences requises pour les travailleurs techniques

Les défis énergétiques sont si importants et complexes que les solutions ne peuvent être que le résultat d'efforts concertés dans le cadre d'une collaboration multidisciplinaire entre de nombreux spécialistes. Les travailleurs doivent développer des profils en forme de T : développer une large base de connaissances et de compétences générales sur plusieurs sujets, ainsi qu'une expertise approfondie dans un domaine spécifique.



\* Adapté de la figure 2 du document « The Smart Grid Workforce of the Future » (référence listée les sources).

## Compétences techniques

Le réseau intelligent signifie un nouveau savoir-faire et de nouvelles connaissances liées aux technologies, aux modèles commerciaux, aux systèmes de gestion, etc. Chaque profil de poste exigera une combinaison différente de ces compétences. Les compétences techniques sont généralement développées par l'étude et la formation pratique.

## Compétences générales

Les environnements qui changent rapidement et les défis complexes exigent une collaboration interfonctionnelle et interdisciplinaire, ce qui nécessite de solides compétences non techniques (générales) pour favoriser le succès :

Elles peuvent être favorisées de plusieurs manières, par exemple par le travail d'équipe, les approches d'apprentissage par projet, les apprentissages supervisés ou le mentorat.

# Cinq clés pour une formation au réseau intelligent réussie

Pour participer activement à la modernisation du réseau électrique, les travailleurs, en particulier les techniciens et les ingénieurs, ont besoin d'un large éventail de compétences et de nouvelles connaissances, acquises et développées dans le cadre de programmes de formation alignés avec les besoins de l'industrie. De nombreux facteurs contribuent à la réussite de l'éducation :

## 1 Approche multidisciplinaire

La nature intégrative du concept de réseau intelligent exige un effort de collaboration multidisciplinaire de la part de nombreux spécialistes. La formation doit englober les cours traditionnels de la discipline du génie électrique, mais aussi de l'informatique, des communications et des systèmes d'information et de sécurité étroitement liés. De plus, les travailleurs du réseau électrique doivent développer une vision plus large du paysage énergétique global, comme les réglementations et les politiques, les modèles commerciaux, etc. pour mieux comprendre leur rôle et l'impact de leurs actions.

## 2 Expérimentation pratique

La formation pratique transforme l'apprentissage en action. Expérimenter et mettre ses compétences à l'épreuve sur des équipements répliquant la réalité du marché du travail rend l'apprentissage très tangible et approfondit la compréhension des étudiants. Lorsque les écoles investissent dans des infrastructures modernes de laboratoires de réseau électrique, qu'il s'agisse de matériel de formation qui reproduit des systèmes électriques, d'outils de simulation et de modélisation, d'applications de réalité virtuelle ou de réalité augmentée, de bancs d'essai pour la recherche ou autres, elles contribuent à préparer des personnes capables d'appliquer rapidement leurs compétences et leurs connaissances sur le lieu de travail et d'apporter leur contribution au monde.

Exemples:

- Smart Electric Power System Laboratory, The College of New Jersey (TCNJ), USA.
- Clean Technology Facility, Centennial College, Canada.

## 3 Stages

Apprendre, pratiquer, travailler. Les apprentissages enseignent aux travailleurs des réseaux intelligents les théories et les principes de sujets techniques pertinents, comme l'ingénierie électrique, et la manière de traduire ces connaissances dans les environnements de travail pendant la formation sur le terrain. Le réseau intelligent nécessite des compétences très spécifiques et difficiles à acquérir. Le mélange d'enseignement en classe et de formation sous la direction d'un éducateur expérimenté et d'un spécialiste du travail expérimenté rend l'apprentissage efficace pour préparer les étudiants au monde du travail.

## 4 L'apprentissage tout au long de la vie

Étant donné la nature évolutive du réseau intelligent, les travailleurs doivent développer de solides capacités d'apprentissage. Les entreprises doivent offrir des possibilités de formation continue, tenir un registre précis de chaque travailleur et les soutenir de manière personnalisée pour les aider à se développer. Mais les travailleurs doivent également développer la capacité à auto-diagnostiquer de manière autonome ce qu'ils doivent apprendre ou faire pour évoluer vers d'autres rôles, sans se fier uniquement à leurs gestionnaires ou aux ressources humaines.

**... Et la dernière clé, mais non la moindre, d'une formation réussie au réseau électrique : les partenariats.**

## 5 Partenariats

La rapidité des changements technologiques fait du réseau intelligent un secteur en pleine évolution. Il est difficile pour les formateurs de suivre les changements qui se produisent dans le réseau électrique et d'aligner en conséquence le contenu de leurs cours et leurs infrastructures de formation. Les formateurs sont des experts pédagogiques qui connaissent les meilleures façons d'enseigner ; les partenaires externes peuvent les aider à acquérir des connaissances et une expertise dans le secteur et leur fournir des équipements d'accès qui accéléreront et amélioreront les programmes d'enseignement.

Exemples:

- The Workforce Training for the Electric Power Sector at the University of Tennessee, Chattanooga, USA
- IGEE program of the Institute of Electrical Power Engineering, Canada.



**Enseignants et experts de l'industrie peuvent tirer parti de synergies pour créer un bassin optimal de travailleurs qualifiés.**

### Partenaires potentiels:

#### Compagnies d'électricité

Elles sont au cœur de la modernisation du réseau. Pour mettre en œuvre avec succès les changements liés au réseau intelligent, elles investissent dans la formation des travailleurs actuels et l'intégration des nouveaux venus dans le secteur. Elles investissent également souvent dans l'éducation par l'intermédiaire d'instituts de recherche.

#### Instituts de recherche

Les instituts de recherche dans le domaine de l'énergie jouent un rôle clé pour faire progresser les connaissances et stimuler l'innovation, car les technologies évoluent rapidement et des recherches doivent être menées.

#### Organisations académiques

Par le biais de réunions, de séminaires, de la publication de revues et de magazines, elles contribuent à élargir les connaissances dans leurs domaines d'intérêt respectifs en offrant des possibilités de dialogue et de communication.

#### Syndicats et associations professionnelles

Ils peuvent offrir à leurs membres actifs des possibilités de perfectionnement grâce à des formations sur des sujets clés et des questions d'actualité en lien avec des professions spécifiques.

#### Gouvernements

L'énergie est un sujet critique qui nécessite à la fois une meilleure éducation du grand public et un soutien accru aux écoles. Il est également nécessaire d'investir dans les infrastructures énergétiques, de développer des politiques pour encadrer les changements, d'élaborer des plans pour catalyser les actions dans l'écosystème énergétique.

D'autres acteurs, tels que les fournisseurs de solutions d'apprentissage et les organisations internationales dédiées à l'éducation, sont également une source précieuse d'orientation et de conseils.

## Principaux points à retenir

**Le succès de la modernisation des réseaux électriques repose sur des travailleurs qualifiés.**

**Les changements technologiques et structurels dans les réseaux changent les besoins en formation et en compétences.**

**Des partenaires peuvent aider à aligner les programmes scolaires sur les besoins de l'industrie.**



**Prêts à découvrir les sujets techniques à inclure dans la formation en génie électrique ?**

Réseau intelligent, électronique de puissance, machines rotatives, énergies renouvelables, et plus : découvrez une gamme de systèmes d'apprentissage qui soutiennent l'enseignement et l'apprentissage des technologies de l'énergie électrique.

**Téléchargez l'aperçu d'un programme de cours offrant une couverture thématique complète (PDF) :**

[bitly.com/EnergieElectrique-Cours-FR](https://bitly.com/EnergieElectrique-Cours-FR)

## Sources

Association canadienne de l'électricité. « The Smart Grid: A Pragmatic Approach » (PDF file). 2017. → Lien

Festo Didactic Ltée. « Réseau intelligent ». Guide de l'enseignant. Éd. 2019.

Informa Markets. « Energy & Utilities Market Outlook Report 2020 ». 2020. → Lien

Agence Internationale de l'Énergie (IEA). « Tracking Energy Integration 2020 ». 2020. → Lien

Mead, D. & Folsom, A., Exemplary Performance. « Smart Grids Start with Smarter Employees ». Powergrid International. 2012. → Lien

Middleton, A. Energy Skills Queensland. « A changing industry, a changing workforce » (PDF file). 2020. → Lien

Reed, G.F. & Stanchina, W. « Smart grid education models for modern electric power system engineering curriculum ». Conference Power and Energy Society General Meeting. 2010 IEEE. → Lien

Smart Energy International. « Africa's power industry – insights in 2020 ». 3 avril 2020. → Lien

Smart Energy International. « China to invest \$77.6 bn in smart grid infrastructure ». 4 août 2016. → Lien

Smart Energy International. « Germany to invest \$23.6 bn in smart grid by 2026 ». 28 septembre 2016. → Lien

Smart Energy International. « Smart grid infrastructure investments in South America to hit \$18.1 billion ». 29 mai 2020. → Lien

Smart Energy International. « Smart grid investments in Australia and New Zealand to reach \$6.1bn ». 24 mai 2017. → Lien

Smart Energy International. « US smart grid market, twists and turns, analysis ». 6 février 2018. → Lien

U.S. Bureau of Labor Statistics. « Powering the nation: Smart Grid careers » (PDF file). 2013. → Lien

U.S. Department of Energy. « Power Jobs: The Smart Grid Workforce ». 20 septembre 2011. → Lien

West Monroe Partners, LLC and Illinois Institute of Technology. « The Smart Grid Workforce of the Future ». 2011. → Lien

Note : Les hyperliens étaient actifs le 21 janvier 2021.

Le présent document a été publié en janvier 2021 par Festo Didactic, un des principaux fournisseurs de solutions d'apprentissage pour l'enseignement technique. Tous droits réservés. Pour plus d'informations sur Festo Didactic : → [www.festo-didactic.com](http://www.festo-didactic.com).

**Festo Didactic Ltée**

675, rue du Carbone  
Québec (QC) G1K 8W1  
Canada  
Tél. : +1 418 849-1000  
services.didactic@festo.com

**Festo France**

Unité « Didactic »  
ZA des Maisons Rouges  
8 rue du Clos Sainte-Catherine  
94360 Bry-sur-Marne  
France  
Tél. : + 33 (0)1 48 82 64 00  
didactic\_fr@festo.com

**Festo Didactic SE**

Rechbergstrasse 3  
73770 Denkendorf  
Allemagne  
Tél. : +49 711 3467-0  
did@festo.com