

# Introduction aux réseaux électriques intelligents

*Réseaux électriques intelligents (Smart Grids)*



Enseignant de la matière: Imen Souhila Bousmaha  
Docteure en Réseaux électriques UDL SBA- Maître  
assistante classe B à l'école Supérieure des sciences  
appliquées Tlemcen ESSAT. Contact :  
imenbousmaha@yahoo.fr .

Nom du cours/ Unité d'Enseignement & niveau :  
Réseaux électriques intelligents (Smart Grids)/ UEF 91  
pour les 5<sup>ème</sup> années ELT S5. Coefficient : 5 Crédits  
: 5.

# Table des matières



<b>Objectifs</b>	4
<b>I - Carte conceptuelle</b>	5
<b>II - Unité d'apprentissage 2</b>	6
1. Causes de l'émergence des réseaux intelligents .....	6
2. Exercice : Causes de l'émergence des smart grids .....	6
3. Définitions .....	7
3.1. La plate-forme technologique Européenne .....	7
3.2. Le département de l'énergie de l'administration américaine .....	7
3.3. Autres Définitions .....	7
4. Les concepts et fonctionnalités attendues des SGs .....	8
5. Architectures de smart grids .....	10
5.1. Exercice : Modèle NIST .....	10
5.2. Modèle de NIST «National Institute of Standards and Technology» .....	10
5.3. Exercice .....	11
5.4. Exercice : Service provider .....	12
5.5. Modèle de IEEE .....	12
5.6. Exercice .....	13
6. Les bénéfices attendues des smart grids .....	13
6.1. Analyse coûts/bénéfices .....	13
7. Exercice : Comprendre le modèle NIST .....	15
<b>III - Mesure de compréhension des séquences pédagogiques de l'unité d'apprentissage 2</b>	16
1. Exercice : Modèle NIST .....	16
2. Exercice : Service provider .....	16
3. Exercice .....	17
4. Exercice : Causes de l'émergence des smart grids .....	17
5. Exercice : Comprendre le modèle NIST .....	17
6. Exercice .....	17
7. Orientation et remédiation locale .....	17

<b>Solutions des exercices</b>	18
<b>Glossaire</b>	21
<b>Abréviations</b>	23
<b>Références</b>	24
<b>Bibliographie</b>	25

# Objectifs

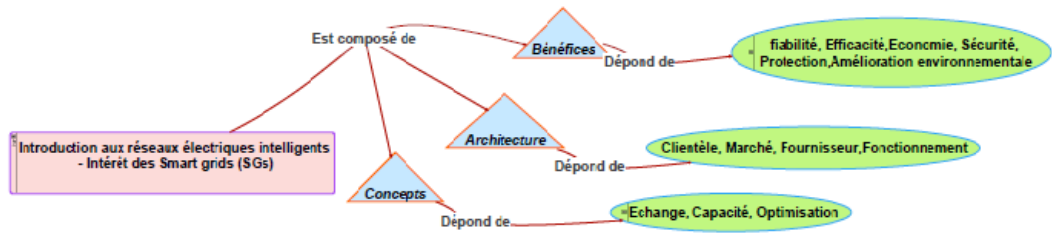
A l'issu du chapitre 2 l'étudiant sera capable de :

- Distinguer les causes d'intégrations des réseaux intelligents..
- Identifier les fondements des smart grids.
- Employer les terminologies importantes utilisées.
- Discriminer les bénéfices attendus de cette technologie.

*Les pré-requis nécessaires au suivi de ce cours:*

- Connaissances de base en réseaux électrique,
- Notions générales sur le changement climatique et les gaz à effet de serre.
- Notions générales sur la gestion économique des ressources fossiles.
- Notions fondamentales sur les énergies renouvelables.

# Carte conceptuelle



Carte conceptuelle CH 2

# Unité d'apprentissage 2

II

## 1. Causes de l'émergence des réseaux intelligents

- Face aux préoccupations environnementales croissantes, l'Union européenne a adopté des objectifs ambitieux, dits des « 3x20 ». Il s'agit d'ici 2020 :
- de faire passer à 20 % la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique européen ;
- de réduire de 20 % les émissions de CO<sub>2</sub> des pays de l'Union par rapport à 1990 ;
- d'accroître l'efficacité énergétique de 20 %. Référence 200\*
- Dans le prolongement de cette politique européenne, la France a adopté, par les lois issues du Grenelle de l'environnement, des mesures visant notamment à maîtriser la demande en énergie. Elle s'est également engagée à diviser par 4 ses émissions de gaz à effet de serre.
- Ces objectifs politiques modifieront en profondeur l'utilisation de l'énergie et la gestion du système électrique.[5]\*



## 2. Exercice : Causes de l'émergence des smart grids

[solution n°1 p.18]

réduire de 20 % les émissions de CO<sub>2</sub> des pays de l'Union

passer à 20 % la part des énergies renouvelables

accroître l'efficacité énergétique de 20 %

### 3. Définitions

- Pour faire face aux mutations du paysage énergétique, il est nécessaire de moderniser le système électrique. Le contexte français et européen, dans lequel se sont développés les réseaux électriques, conduit à privilégier le déploiement des technologies de Smart grids plutôt que le remplacement et le renforcement massif des réseaux. Référence 201\*
- Les SGs associent les technologies de l'information et de la communication (TIC) aux réseaux. Les systèmes communicant, en parallèle des réseaux de distribution, ainsi que l'intelligence embarquée doivent permettre un meilleur ajustement entre production et consommation d'électricité et l'intégration des énergies renouvelables.

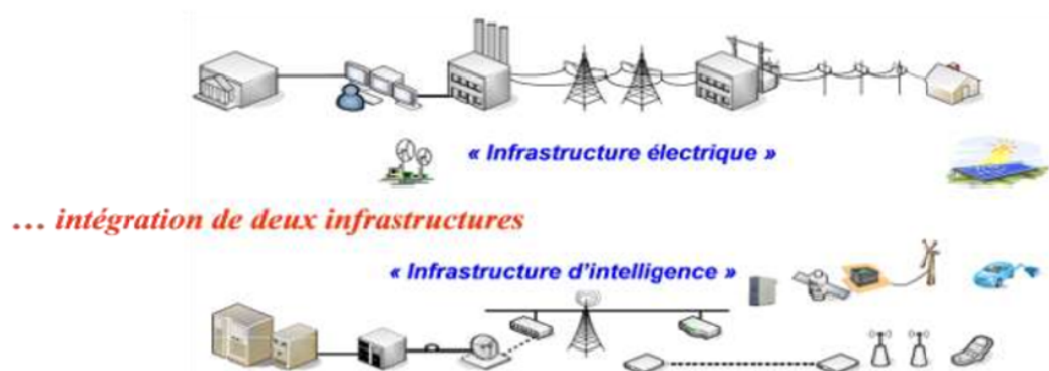
#### 3.1. La plate-forme technologique Européenne

Smart

Les réseaux intelligents ou Grids\* ou SGS\*, visent à intégrer de manière efficiente les actions de l'ensemble des utilisateurs (producteurs et consommateurs) afin de garantir un approvisionnement électrique durable, sûr et au moindre coût ».

#### 3.2. Le département de l'énergie de l'administration américaine

donne une définition plus détaillée du réseau intelligent. Il le définit comme « un réseau auto-cicatrisant, qui permet une participation active des consommateurs, qui est résilient aux attaques malicieuses et aux catastrophes naturelles, intègre toutes les sources de production et de stockage, accommode de nouveaux produits, services et marchés, optimise l'utilisation des infrastructures et fonctionne efficacement, fournit une qualité d'alimentation pour l'économie numérique ».[6]\*

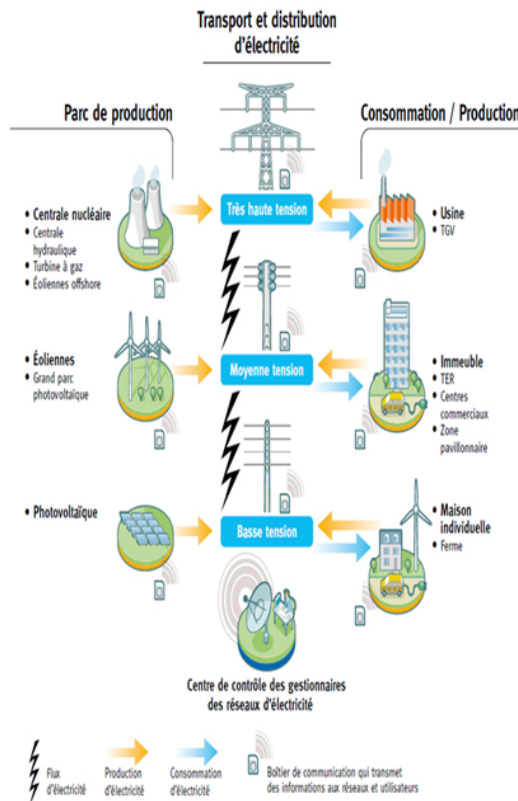


#### 3.3. Autres Définitions

##### Complément

- L'intégration des nouvelles technologies de l'information et de la communication aux réseaux les rendra communicants et permettra de prendre en compte les actions des acteurs du système électrique, tout en assurant une livraison d'électricité plus efficace, économiquement viable (stable) et sûre.

- Le système électrique sera ainsi piloté de manière plus flexible pour gérer les contraintes telles que l'intermittence des énergies renouvelables et le développement de nouveaux usages tels que le véhicule électrique. Référence 202\*
- Ces contraintes auront également pour effet de faire évoluer le système actuel, où l'équilibre en temps réel est assuré en adaptant la production à la consommation, vers un système où l'ajustement se fera davantage par la demande, faisant ainsi du consommateur un véritable acteur.



#### 4. Les concepts et fonctionnalités attendues des SGs

Afin de préciser cette idée un peu vague, de nombreuses feuilles de route ont été réalisées ces dernières années pour inventorier les services que l'on pourrait attendre d'un SG\*

Parmi lesquelles celle publiée en 2011 par AIE\* (l'agence internationale de l'énergie\*)

*La présente feuille de route comprend 6 exigences:*

1. Les consommateurs d'électricité soient mieux informés, au moyen de relevés de consommation électrique plus granulaires dans le temps, et plus facile à interpréter et à relier aux différents usages domestiques de l'électricité. (tarifs incitatifs variables dans le temps)
2. Qu'un « smart grid » soit capable d'accueillir tout type de technologie de production, notamment les nouveaux générateurs dispersés, ainsi que des dispositifs de stockage. Sans créer de congestion (attaque) ou de déséquilibre entre l'offre et la demande mais elle nécessite aussi de créer les conditions réglementaires et économiques.
3. les échanges économiques entre acteurs du « smart grid » prennent autant que possible la forme de marchés (forme de concurrence).



4. que tous les consommateurs n'ont pas toujours le même besoin en terme de qualité de fourniture

5. Optimisation techno-économique en :

- Optimisant l'utilisation des actifs par le pilotage du réseau plus près de ses limites
- élaborant des méthodes de maintenance dites « prédictives », visant à mieux comprendre les phénomènes de vieillissement des équipements afin de les remplacer idéalement « juste avant la panne », afin de maximiser la durée d'utilisation du matériel tout en minimisant l'occurrence de coupures.

6. Il est ainsi précisé qu'un « smart grid » doit être une infrastructure capable de résister le mieux possible aux diverses perturbations de son environnement.

- Mineure : court-circuit local que le réseau doit être capable d'éliminer sans intervention humaine et en garantissant une reprise de service rapide.
- Majeure: comme les pannes généralisées contre lesquelles un plan de défense, et de reconstitution du réseau après l'incident, doit être préparé. Le plan de défense et la reconstitution du réseau sont bien sûr déjà soigneusement préparés par les gestionnaires de réseau aujourd'hui.

## 5. Architectures de smart grids

### 5.1. Exercice : Modèle NIST

[solution n°2 p.18]

Dans l'architecture de NIST, chaque consommateur peut produire de l'électricité en utilisant les ressources renouvelables. Le surplus d'énergie produite est géré par :

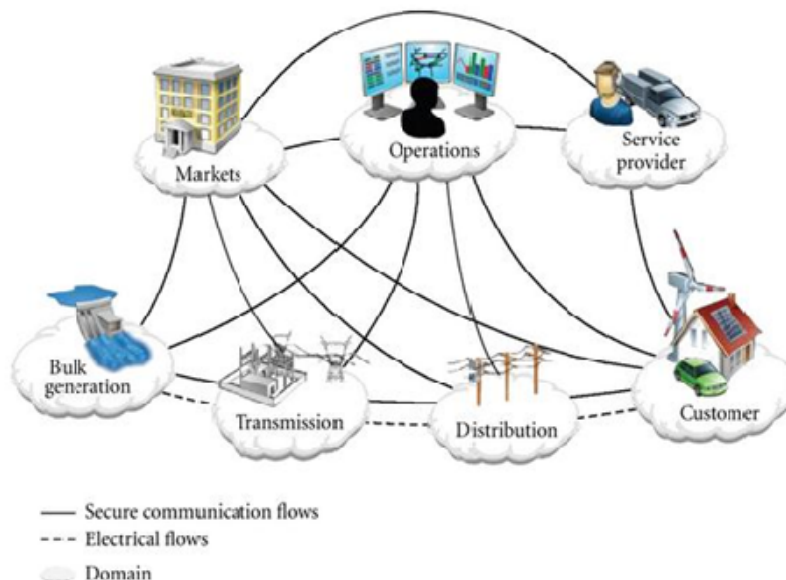
- le consommateur lui-même
- le producteur

### 5.2. Modèle de NIST «National Institute of Standards and Technology»

Dans l'architecture de NIST, chaque consommateur peut produire de l'électricité en utilisant les ressources renouvelables. Le surplus d'énergie produite est géré par le consommateur lui-même, la gestion du surplus d'énergie est décentralisée.[8]\*

#### 5.2.1. Customer Domain (Clientèle)

- Le domaine de la clientèle « Customer Domain\* » contient les utilisateurs finaux de l'électricité. Référence 203\*
- Il peut également générer, stocker et gérer l'utilisation d'énergie.
- Ce domaine se divise en trois sous domaines Résidentiel , Commercial et Industriel
- Il comporte par exemple:  
Compteurs intelligents, appareils domestiques et les sources de production décentralisée (DER)



#### 5.2.2. Markets Domain (Marchés)

- Ce domaine se compose de détaillants qui fournissent de l'électricité aux utilisateurs, fournisseurs, et commerçants.

### 5.2.3. Service Provider (Le fournisseur de services)

- Fournit l'électricité aux clients et services publics .
- Il gère des services comme la facturation et la gestion des profils des clients pour les entreprises de services publics.
- Il communique avec le domaine d'opérations pour obtenir les informations de consommation, de connaissance de la situation et de contrôle du système.
- Communiquer avec les réseau de communication domestique dans le domaine de la clientèle pour fournir des services intelligents comme la gestion des utilisations d'énergie.

### 5.2.4. Operation (fonctionnement)

- contient les gestionnaires de la circulation de l'électricité.
- responsable du bon fonctionnement du système d'alimentation
- gère les opérations efficaces et optimales des domaines de transport (EMS<sup>\*</sup>) et de distribution (DMS<sup>\*</sup>)

### 5.2.5. Bulk generation (production)

- Ce domaine contient les grands producteurs d'énergie (renouvelable<sup>\*</sup> et non renouvelable<sup>\*</sup>).
- Il peut également stocker l'énergie pour une distribution ultérieure.
- Ce domaine est connecté au domaine du transport. Référence 204<sup>\*</sup>

### 5.2.6. Transport

Il contient les transporteurs de grandes quantités d'électricité sur des longues distances (Transport en gros).

L'électricité produite est transmise au domaine de la distribution par l'intermédiaire de multiples sous stations et lignes de transmission

Le transport est généralement exploitée et géré par un RTO<sup>\*</sup> ou un ISO<sup>\*</sup> .

### 5.2.7. Distribution

- Le domaine de la distribution prend la responsabilité de délivrer l'électricité aux consommateurs d'énergie en fonction des demandes des utilisateurs et la disponibilité de l'énergie.
- Il interagit avec de nombreux équipements,
- Afin de garantir la qualité d'électricité, la stabilité<sup>\*</sup> de ce domaine est contrôlée.

## 5.3. Exercice

[solution n°3 p.18]

C'est quoi le customer domain

## 5.4. Exercice : Service provider

[solution n°4 p.18]

Le rôle du service provider

- Fournit l'électricité aux clients et services publics .
- compose de détaillants qui fournissent de l'électricité aux utilisateurs, fournisseurs, et commerçants.
- 

Il gère des services comme la facturation et la gestion des profils des clients pour les entreprises de services publics.

Il communique avec le domaine d'opérations pour obtenir les informations de consommation, de connaissance de la situation et de contrôle du système.

Communiquer avec les réseau de communication domestique dans le domaine de la clientèle pour fournir des services intelligents comme la gestion des utilisations d'énergie.

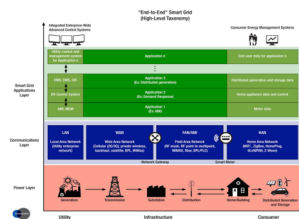
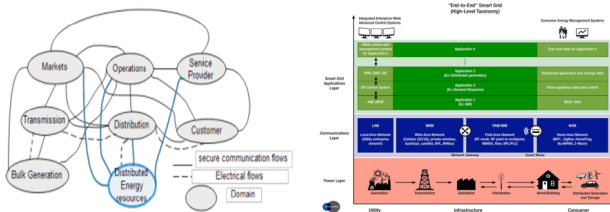
- responsable du bon fonctionnement du système d'alimentation

## 5.5. Modèle de IEEE

l'IEEE\*\* a proposé une architecture basée sur celle de NIST, mais a défini un nouveau domaine nommé *DER*\* qui permet de gérer le surplus de l'énergie produite, la gestion du surplus d'énergie est centralisée

De plus elle définit trois perspectives architecturales intégrées : la couche énergie, la couche communication et la couche information

Modèle de IEEE



### 5.5.1. La couche de systèmes d'énergie (power layer)

est la chaîne de valeur électrique sert à acheminer l'électricité par une infrastructure classique d'ouvrages électriques (lignes, transformateurs, etc.) tout au long de la génération jusqu'au consommateur. Référence 205\*

### 5.5.2. La couche de communication

est l'épine dorsale formée par une architecture de communication fondée sur différents supports et technologies de communication (fibre optique\*, GPRS\*, etc.) servant à collecter les données issues des capteurs installés sur les réseaux électriques.

### 5.5.3. La couche information

L'IEEE\* représente le Smart Grid du point de vue des applications informatiques tels que des systèmes de dépannage à distance ou des programmes automatiques de réponse à la demande d'électricité utilisant une information en temps réel et des flux de données associés à ces applications qui sont utilisées pour faire fonctionner et gérer le système d'alimentation avec l'objectif principal de permettre l'interopérabilité indépendamment des systèmes développés.

### 5.6. Exercice

[solution n°5 p.19]

La couche de systèmes d'énergie (power layer) est la chaîne de valeur électrique sert à acheminer l' [ ] par une infrastructure classique d'ouvrages électriques (lignes, transformateurs, etc.) tout au long de la génération jusqu'au consommateur.

## 6. Les bénéfices attendues des smart grids

La valeur du réseau intelligent doit être claire pour toutes les parties prenantes, en particulier pour les consommateurs résidentiels.

il est impératif qu'ils comprennent clairement les valeurs d'un réseau intelligent et que toutes les préoccupations qu'ils peuvent avoir avec sa mise en œuvre sont abordées. Sans cette compréhension et cet alignement, le consommateur manquera de l'intérêt et de la motivation pour soutenir cette transition basée sur le marché. Plutôt qu'un supporteur, le consommateur pourrait plutôt devenir un obstacle à la progression des réseaux intelligents.

### 6.1. Analyse coûts/bénéfices

Des études qui ont été fait en 2011 par EPRI (Electric Power Research Institute) ont conclu que les bénéfices d'un réseau intelligent dépassent de loin leurs coûts

Smart Grids technology	Costs(\$)	Benefits v
AMI	399	1649
IT	170	1308
DR	22	1091
DMS	454	3288
DER	832	5289
Total	1878	12625

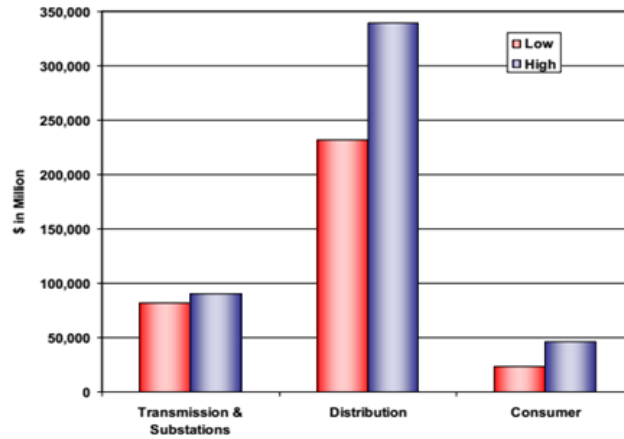
Smart Grids Bénéfices

#### Complément

le coût pour les consommateurs (industriel, commercial et résidentiel) n'est que de 7% à 10% du total et la majorité provient de capteurs du réseau de distribution de la cyber-sécurité et des moyens du stockage

	\$ / Customer total Cost (b)	
	Low	High
Class	\$ / Customer	\$ / Customer
Residential	1,033	1,455
Commercial	7,146	10,064
Industrial	107,845	151,877

Participation de chaque type de consommateur



### Conseil

Il existe deux raisons pour aller vers un réseau intelligent

- Le premier est les problèmes rencontrés par l'ancien système et qui sont déjà mentionnés ci-dessus.
- Deuxièmement, les bénéfices du réseau intelligent qui sont substantiels.

### Simulation

Ces bénéfices découlent de l'amélioration des six domaines de valeur clés suivants:

Les six domaines



## 7. Exercice : Comprendre le modèle NIST

[solution n°6 p.19]

commerçants

utilisateurs

la gestion du surplus d'énergie est décentralisée

fournisseurs

<p>Le surplus d'énergie produite est géré par le consommateur lui-même</p>	<p>Domaine du marchés (Markets Domain ) fournit l'électricité aux</p>
--	---





### 3. Exercice

[solution n°9 p.20]

C'est quoi le customer domain

### 4. Exercice : Causes de l'émergence des smart grids

[solution n°10 p.20]

accroître l'efficacité énergétique de 20 %

réduire de 20 % les émissions de CO2 des pays de l'Union

passer à 20 % la part des énergies renouvelables

### 5. Exercice : Comprendre le modèle NIST

[solution n°11 p.20]

fournisseurs

commerçants

utilisateurs

la gestion du surplus d'énergie est décentralisée

<p>Le surplus d'énergie produite est géré par le consommateur lui-même</p>	<p>Domaine du marchés (Markets Domain ) fournit l'électricité aux</p>
--	---

### 6. Exercice

[solution n°12 p.20]

La couche de systèmes d'énergie (power layer) est la chaîne de valeur électrique sert à acheminer l' [ ] par une infrastructure classique d'ouvrages électriques (lignes, transformateurs, etc.) tout au long de la génération jusqu'au consommateur.

### 7. Orientation et remédiation locale

« Orientation »

L'apprenant réussit l'activité d'apprentissage: orientation vers l'unité d'apprentissage 3

« Remédiation »

- L'activité d'apprentissage n'est pas réussie : remédiations proposées à l'apprenant vers les parties de l'unité d'apprentissage 2 non assimilées convenablement.





Communiquer avec le réseau de communication domestique dans le domaine de la clientèle pour fournir des services intelligents comme la gestion des utilisations d'énergie.

responsable du bon fonctionnement du système d'alimentation

> **Solution n°5**

Exercice p. 13

La couche de systèmes d'énergie (power layer) est la chaîne de valeur électrique sert à acheminer l'électricité par une infrastructure classique d'ouvrages électriques (lignes, transformateurs, etc.) tout au long de la génération jusqu'au consommateur.

> **Solution n°6**

Exercice p. 15

Le surplus d'énergie produite est géré par le consommateur lui-même	Domaine du marchés (Markets Domain ) fournit l'électricité aux
<div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">la gestion du surplus d'énergie est décentralisée</div>	<div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">utilisateurs</div> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">commerçants</div> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px;">fournisseurs</div>

> **Solution n°7**

Exercice p. 16

Dans l'architecture de NIST, chaque consommateur peut produire de l'électricité en utilisant les ressources renouvelables. Le surplus d'énergie produite est géré par :

le consommateur lui-même

le producteur

> **Solution n°8**

Exercice p. 16

Le rôle du service provider

Fournit l'électricité aux clients et services publics .

compose de détaillants qui fournissent de l'électricité aux utilisateurs, fournisseurs, et commerçants.



Il gère des services comme la facturation et la gestion des profils des clients pour les entreprises de services publics.



# Glossaire

## **fibre optique**

Une fibre optique est un fil dont l'âme<sup>1</sup>, très fine, en verre ou en plastique a la propriété de conduire la lumière et sert pour la fibroscopie, l'éclairage ou la transmission de données numérique. Elle offre un débit d'information nettement supérieur à celui des câbles coaxiaux et peut servir de support à un réseau « large bande » par lequel transitent aussi bien la télévision, le téléphone, la visioconférence ou les données informatiques. Le principe de la fibre optique date du début du xxe siècle mais ce n'est qu'en 1970 qu'est développée une fibre utilisable pour les télécommunications, dans les laboratoires de l'entreprise américaine Corning Glass Works (actuelle Corning Incorporated).

## **GPRS**

Le General Packet Radio Service ou GPRS est une norme (protocole réseau) pour la téléphonie mobile dérivée du GSM et complémentaire de celui-ci, permettant un débit de données plus élevé

## **IEEE**

est une association professionnelle. L'IEEE compte plus de 400 000 membres et possède différentes branches dans plusieurs parties du monde

## **L'agence internationale de l'énergie**

L'Agence internationale de l'énergie (AIE) (International Energy Agency en anglais, ou IEA) est une organisation internationale fondée à l'OCDE en 1974, basée à Paris.

L'AIE est reconnue mondialement pour la publication de son rapport annuel, le World Energy Outlook (WEO), ainsi que ses rapports Energy Technology Perspectives et ses rapports sur les perspectives à moyen terme sur les marchés du pétrole, du gaz, du charbon, et plus récemment des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique.

## **Les sources non renouvelables**

Les sources non renouvelables sont les énergies fossiles comme le pétrole, le charbon et le gaz dont les gisements limités peuvent être épuisés.

## **Les sources renouvelables**

Les sources renouvelables sont l'énergie solaire, éolienne, hydraulique, géothermique, marine et la biomasse.

## **smart grids**

Les réseaux électriques intelligents sont aussi appelés Smart grids. Ce sont les réseaux électriques publics auxquels sont ajoutés des fonctionnalités issues des nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC). Le but est d'assurer l'équilibre entre l'offre et la demande d'électricité à tout instant et de fournir un approvisionnement sûr, durable et compétitif aux consommateurs.

## **Stabilité**

État d'une construction capable de demeurer dans un équilibre permanent.

# Abréviations



**AIE** : l'agence internationale de l'énergie

**DER** : Distributed Energy resources

**DMS** : Distribution management system

**EMS** : Energy Management System

**IEEE** : Institute of Electrical and Electronics Engineers

**ISO** : Independent System Operator

**RTO** : Regional Transmission Operator

**SG** : Smart Grid

**SGs** : Smart Grids



# Références



*Référence 200*

DEMADE, Maxime Analyse sociale de cycles de vie: les cycles de vie des représentations paysagères de l'éolien. 2018. PhD Thesis. Université Michel de Montaigne-Bordeaux III.

*Référence 201*

VILLANI, Cédric, et al. Donner un sens à l'intelligence artificielle. 2018.

*Référence 202*

QUEINNEC, Isabelle; JAULIN, Luc; TRENTESAUX, Damien. Dossier de demande de renouvellement du. 2018.

*Référence 203*

NICOLAS, Alexandre Frédéric Rougier, et al. apprentissage de séquences et extraction de règles de réseaux récurrents: application au traçage de schémas techniques. 2018. PhD Thesis. Bordeaux.

*Référence 204*

WILLIS, H. Lee (ed.). Distributed power generation: planning and evaluation. Crc Press, 2018.

*Référence 205*

PHILIPPE, Descamps, et al. Contribution à l'analyse CEM globale de structures et de circuits. Application aux antennes Vivaldi en présence d'un système non linéaire pour la récupération d'énergie: une approche FDTD. 2018. PhD Thesis. Normandie.



# Bibliographie

[5]LEPRÊTRE, Nicolas. *Quelle action publique pour la mise en oeuvre de réseaux électriques «intelligents»? Une analyse comparée des expérimentations de Smart Communities au Japon*. In: 13ème Congrès de l'Association Française de Science Politique. 2015. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01443976/document>

[6]BOUCKAERT, Stéphanie. *Contribution des Smart Grids à la transition énergétique: évaluation dans des scénarios long terme*. 2013. PhD Thesis. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris. <https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00959266/document>

[7]SALVADORI, Fabiano, et al. *Smart grid infrastructure using a hybrid network architecture*. IEEE Transactions on Smart Grid, 2013, 4.3: 1630-1639. [https://www.researchgate.net/profile/Camila\\_Gehrke2/publication/260514839\\_Smart\\_Grid\\_Infrastructure\\_Using\\_a\\_Hybrid\\_Network\\_Architecture/links/5736403b08ae9f741b29d125.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Camila_Gehrke2/publication/260514839_Smart_Grid_Infrastructure_Using_a_Hybrid_Network_Architecture/links/5736403b08ae9f741b29d125.pdf)

[8]LEPRÊTRE, Nicolas. *Quelle action publique pour la mise en oeuvre de réseaux électriques «intelligents»? Une analyse comparée des expérimentations de Smart Communities au Japon*. In: 13ème Congrès de l'Association Française de Science Politique. 2015. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01443976/document>