



Office de la Formation Professionnelle
et de la Promotion du Travail

Technicien Spécialisé

Génie Électrique

TRONC COMMUN

Manuel de cours

Module 8

Le secteur électrique et ses perspectives d'évolution



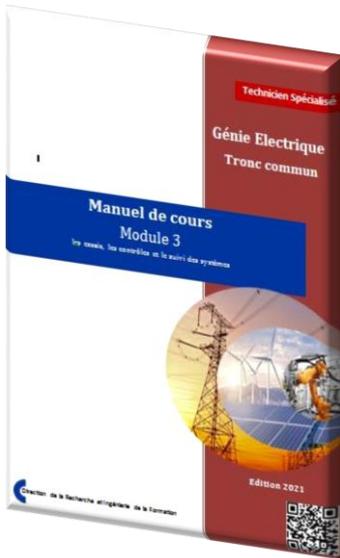
Edition 2021



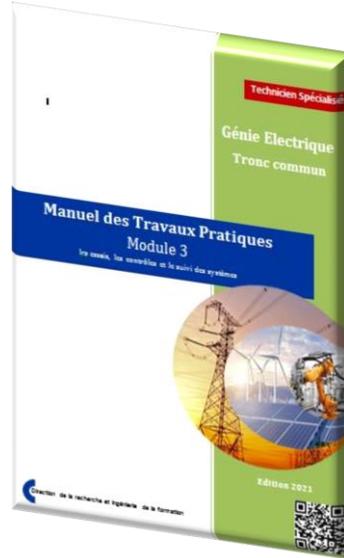
Avant-propos

Les manuels de cours, de travaux pratiques et le guide e-learning sont téléchargeables à partir de la plateforme e-learning moyennant les codes QR suivants :

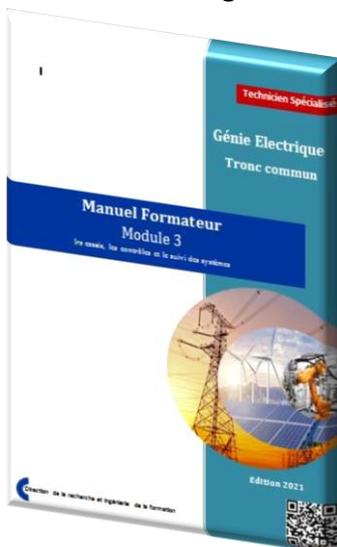
Manuel de cours



Manuel des travaux pratiques



Guide e-learning



SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	2
SOMMAIRE	3
COMPETENCES-CIBLES ET OBJECTIFS OPERATIONNELS	5
CHAPITRE I	7
1. HISTORIQUE DE L'ÉLECTRICITÉ :	8
1.1 Histoire de l'électricité:	8
2. PRODUCTION DE L'ÉLECTRICITÉ :	11
2.1 INTRODUCTION:.....	11
2.2 Les différents types d'énergie:	14
2.3 Les formes d'énergie:	15
2.4 Principe de la production de l'énergie électrique :	16
2.5 Système à combustible fossiles :	17
3. CONSTITUANT D'UNE CENTRALE À VAPEUR:	19
3.1 Turbine à vapeur :.....	19
3.2 La chaudière:.....	21
3.3 Les condensateurs et purificateurs:.....	21
4. LES PRINCIPES D'INTERVENTION POUR UN SYSTÈME DE PRODUCTION ÉLECTRIQUE : 22	
4.1 Principe de la sécurité électrique:	Erreur ! Signet non défini.
4.2 Planification d'un travail de maintenance en sécurité:.....	Erreur ! Signet non défini.
4.3 Analyse des risques électriques:	Erreur ! Signet non défini.
4.4 Hiérarchie de contrôle:	Erreur ! Signet non défini.
4.5 Hiérarchie d'intervention:.....	Erreur ! Signet non défini.
5. HABILITATION ÉLECTRIQUE:	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
5.1 Introduction :	Erreur ! Signet non défini.
5.2 Symbole d'habilitation :	Erreur ! Signet non défini.
CHAPITRE II	25
25	
6. LES DIFFÉRENTES SOURCES D'ÉNERGIES RENOUVELABLES :	25
6.1 Introduction :	25
6.2 Les panneaux photovoltaïques :	28
6.3 Les éoliennes :	35
CHAPITRE III	41
7.1 Introduction sur les systèmes SCADA:.....	42

7.2	Objectifs des systèmes SCADA:	43
7.3	Les différentes générations des systèmes SCADA:	45
7.4	Les différents composants d'un système SCADA:	47
8.1	Avantages du SCADA dans les systèmes électriques:	51
8.2	La production de l'électricité et le système SCADA:	52
8.3	Les types de données et de signaux dans le système électrique:.....	54
8.4	Les Flux de données du terrain vers le centre de contrôle SCADA:	55
8.5	Les fondements des RTU dans un système SCADA:	57
CHAPITRE IV		61
9.1	Introduction:	62
9.2	La télémetrie dans un Smart Grid:.....	64
9.3	Les différents types de télémetrie dans un Smart Grid:.....	65
1.1	AVANTAGES ET FACTEURS AVANCÉS DE L'INFRASTRUCTURE DE COMPTAGE DANS UN SMART GRID:.....	67

COMPETENCES-CIBLES ET OBJECTIFS OPERATIONNELS

Module 8 : Le secteur électrique et ses perspectives d'évolution

Module : GETC 8

Durée : 30 heures

ENONCE DE LA COMPETENCE

Interpréter le secteur électrique dans tous ses états et perspectives d'évolution

CONTEXTE DE REALISATION

- Individuellement
- À partir :
 - des recherches documentaires sur internet
 - de consignes sur les méthodes de recherche ;
 - de techniques de présentation en public
 - de directives et orientation du formateur
 - de consignes pour la participation aux ateliers discussion et de partage.
- À l'aide :
 - Des supports de formation ;
 - D'une liste des thèmes techniques à traiter ;
 - D'un modèle pour l'établissement du rapport.

CRITÈRES GÉNÉRAUX DE PERFORMANCE

- Repérage pertinent des renseignements.
- Utilisation judicieuse des documents techniques.
- Exactitude de l'interprétation des informations.
- Participation active aux ateliers de discussion
- Présentation correcte du rapport de synthèse.

ÉLEMENTS DE LA COMPÉTENCE	CRITÈRES PARTICULIERS DE PERFORMANCE
<p>A. S'informer sur l'historique de l'électricité et de son évolution</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Informations judicieuses sur les objectifs du module d'ancrage • Détermination correcte de la démarche de à suivre et des moyens à mettre en œuvre • Informations judicieuses sur les phénomènes relatives à l'électricité • Informations judicieuses sur les découvertes et inventions historiques et contemporains • Description juste de l'Évolution des sources conventionnelles et renouvelables de production d'énergie électrique • Interprétation judicieuse des avantages et des inconvénients de différentes techniques de production de l'énergie électrique • Présentation judicieuse de l'évolution des applications de l'électricité relatives au secteur industriel • Participation active aux ateliers de discussion
<p>B. Analyser la stratégie énergétique et les perspectives de développement</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Détermination juste des sources conventionnelles et renouvelables de production de l'électricité au Maroc • Pertinence des informations relatives aux orientations vers une transition énergétique au Maroc • Informations pertinentes sur les projets de développement du secteur électrique au Maroc et dans le monde • Illustration pertinente des bonnes pratiques de gestion et d'économie d'énergie
<p>C. Etablir un rapport de synthèse</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Expression claire de ses opinions • Justesse des informations partagées • Conformité du rapport établit au modèle

Chapitre I

PRODUCTION DE L'ÉLECTRICITÉ

1. Historique de l'électricité :

1.1 Histoire de l'électricité:

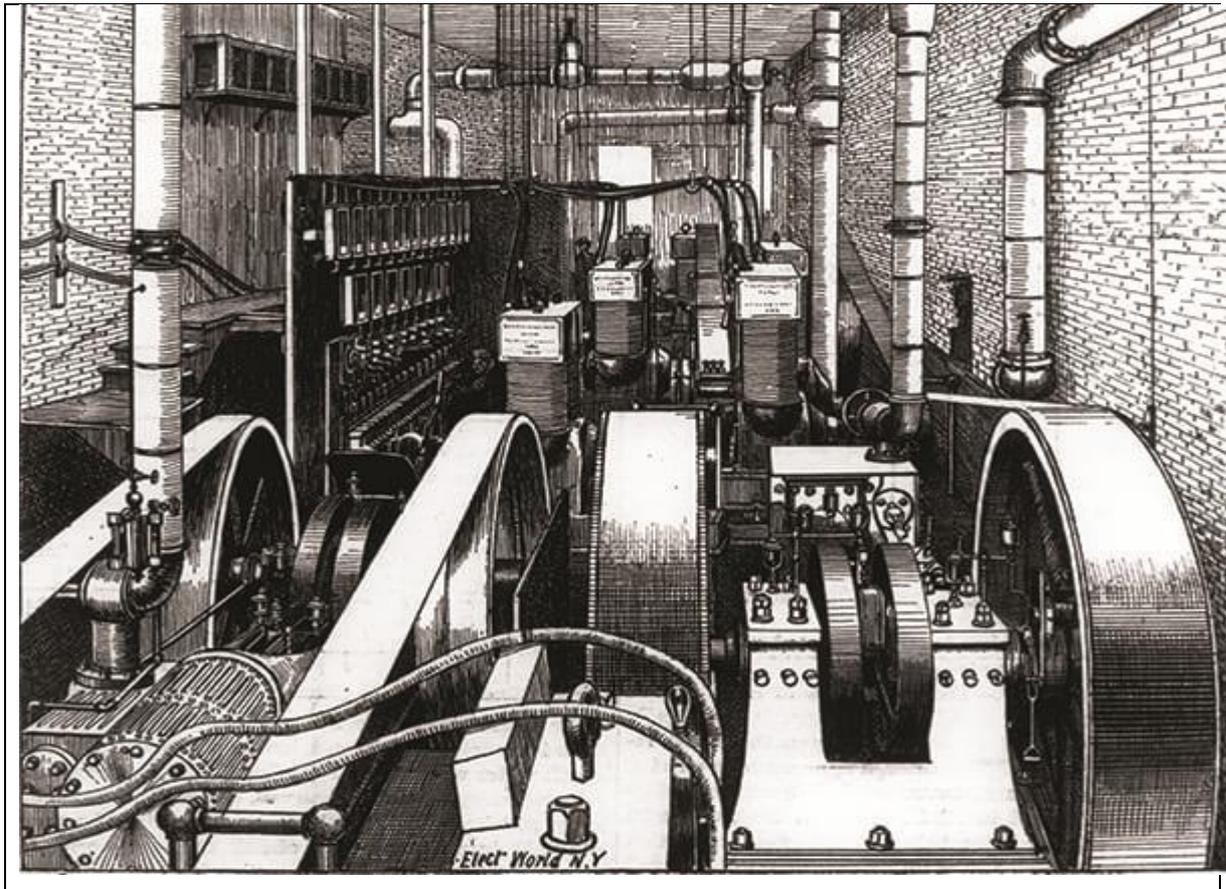
L'électricité et la lumière fonctionnent ensemble. Mais, contrairement à ce qui est communément établi, l'inventeur de l'électricité n'est pas Edison. Il n'était pas non plus le premier à breveter l'ampoule à incandescence. D'autres inventeurs l'avaient déjà inventé une décennie plus tôt, mais son invention fut la seule qui s'avéra commercialement viable. Après avoir obtenu le brevet en 1879, il créa la Edison Illuminating Company et ouvrit la première centrale électrique en 1882 pour commercialiser l'électricité aux personnes qui achetaient ses ampoules.

Il a commencé avec 80 clients et 400 ampoules, mais son entreprise est passée à plus de 500 clients - dont le prestigieux journal du *New York Times* - et 10 000 ampoules en seulement deux ans. En plus de devenir la première centrale électrique, ce fut aussi la première centrale de cogénération, puisque la vapeur servait à chauffer les bâtiments attenants. Cette même année, H. J. Rogers, un fabricant de papier, construit la première centrale hydroélectrique sur Fox River (Wisconsin, États-Unis).

L'histoire de la production d'électricité est longue et alambiquée, marquée par une myriade d'étapes technologiques, conceptuelles et techniques, de centaines de contributeurs. De nombreux récits commencent l'histoire de l'énergie lors de la démonstration de la conduction électrique par l'Anglais Stephen Gray, qui a conduit à l'invention en 1740 des générateurs de friction de verre à Leyde, en Allemagne. Ce développement aurait inspiré les célèbres expériences de Benjamin Franklin, ainsi que l'invention de la pile par l'Italien Alessandro Volta en 1800, la première "lampe à arc" efficace de Humphry Davy en 1808, et en 1820, la démonstration par Hans Christian Oersted de la relation entre l'électricité et le magnétisme. En 1820, dans sans doute la contribution la plus cruciale aux systèmes électriques modernes, Michael Faraday et Joseph Henry ont inventé un moteur électrique primitif, et en 1831, ont documenté qu'un courant électrique peut être produit dans un fil se déplaçant près d'un aimant - démontrant le principe de la Générateur.

L'invention de la première dynamo rudimentaire est attribuée au Français Hippolyte Pixii en 1832. Antonio Pacinotti l'a améliorée pour fournir une alimentation continue en courant continu en 1860. En 1867, Werner von Siemens, Charles Wheatstone et S.A. Varley ont presque simultanément conçu la "dynamo auto-excitante". -générateur électrique." L'amélioration la plus importante est peut-être alors arrivée en 1870, lorsqu'un inventeur belge, Zenobe Gramme, a conçu une dynamo qui produisait un courant continu stable bien adapté à l'alimentation des moteurs - une découverte qui a généré une explosion d'enthousiasme quant au potentiel de l'électricité pour éclairer et alimenter le monde.

En 1877, alors que les rues de nombreuses villes du monde étaient éclairées par l'éclairage à arc (mais pas les pièces ordinaires car les lumières à arc étaient encore aveuglantes), Charles F. Brush, basé dans l'Ohio, avait développé et commencé à vendre la conception de dynamo la plus fiable. à ce point, et une foule de penseurs avant-gardistes exploraient activement la promesse d'une distribution d'électricité à grande échelle. Finalement, Thomas Edison a inventé une lampe à incandescence moins puissante en 1879, et en septembre 1882, un mois seulement avant la publication du premier numéro du magazine POWER, il a établi une centrale électrique à Pearl Street dans le bas de Manhattan comme le montre la figure suivante :



L'évolution de la technologie de l'énergie au charbon a été rapide, en raison de la forte demande d'électricité et d'un secteur minier en plein essor. Le secteur de l'électricité au gaz naturel, qui se taille aujourd'hui la part du lion de la capacité installée et de la production aux États-Unis, a été plus lent à décoller. En 1896, environ une décennie après que Charles Parsons ait développé son générateur à turbine à vapeur, l'inventeur américain Charles Curtis a proposé l'invention d'une turbine différente à la General Electric Co. (GE). En 1901, GE avait développé avec succès un turbogénérateur Curtis de 500 kW, qui utilisait de la vapeur à haute pression pour entraîner une rotation rapide d'un disque monté sur arbre, et en 1903, il livrait la première turbine à vapeur de 5 MW au monde au Commonwealth Edison. Co. de Chicago. Les modèles suivants, qui ont reçu des améliorations suggérées par le Dr Sanford Moss de GE, ont été principalement utilisés comme entraînements mécaniques ou comme unités de pointe.

2. Production de l'électricité :

2.1 INTRODUCTION:

Par la combustion de matière fossile comme le charbon, le pétrole ou le gaz (ou l'uranium pour les centrales nucléaires) de la chaleur se dégage. Les centrales thermiques sont équipées de chaudières dans lesquelles est réchauffée l'eau froide. En brûlant, les combustibles dégagent de la chaleur.

Celle-ci permet de chauffer l'eau et de la transformer en vapeur, sous pression, la vapeur met en mouvement une **turbine** qui à son tour entraîne un **alternateur** (c'est un convertisseur d'énergie synergique en énergie électrique) producteur d'électricité. Dans les centrales nucléaires, il existe plusieurs circuits indépendants pour produire l'électricité.

Le courant produit est ensuite dirigé vers un **transformateur** qui va élever la **tension** du courant produit et lui permettre d'être diffusé sur les **lignes à très haute tension du réseau de transport électrique**.



Toute activité physique dans ce monde, qu'elle soit exercée par des êtres humains ou par la nature, est une cause due au flux d'énergie sous une forme ou l'autre. Le mot « énergie » lui-même vient du grec mot « en-ergon », qui signifie « dans le travail » ou « contenu du travail ». Le rendement du travail dépend de l'apport d'énergie.

L'énergie est l'un des principaux intrants pour le développement économique de tout pays. Dans le cas du pays en développement, le secteur de l'énergie revêt une importance cruciale compte tenu de des besoins énergétiques nécessitant d'énormes investissements pour y répondre.

L'énergie peut être classée en plusieurs types selon les critères suivants :

- Énergie primaire et secondaire
- Énergie commerciale et non commerciale
- Énergie renouvelable et non renouvelable
- Énergie conventionnelle et non conventionnelle

2.1.1 Énergie primaire et secondaire :

Les sources d'énergie primaire sont celles qui se trouvent ou sont stockées dans la nature. Les sources d'énergie primaires courantes sont le charbon, le pétrole, le gaz naturel et la biomasse (comme le bois). D'autres sources d'énergie primaires disponibles comprennent l'énergie nucléaire provenant de substances radioactives, l'énergie thermique stockée à l'intérieur de la Terre et l'énergie potentielle due à la gravité terrestre.

Les sources d'énergie primaires sont converties de manière coûteuse dans les services publics industriels en sources d'énergie secondaires ; par exemple du charbon, du pétrole ou du gaz converti en vapeur et en électricité. L'énergie primaire peut aussi être utilisé directement. Certaines sources d'énergie ont des utilisations non énergétiques, par exemple le charbon ou le gaz naturel peuvent être utilisés comme matière première dans les usines d'engrais.

2.1.2 Énergie commerciale et non commerciale :

Énergie commerciale

Les sources d'énergie disponibles sur le marché à un prix défini sont appelées énergie commerciale. Les formes d'énergie commerciale les plus importantes sont de loin l'électricité, le charbon et le pétrole raffiné, les produits pétroliers. L'énergie commerciale constitue la base du développement industriel, agricole, des transports et commercial dans le monde moderne. Dans les pays industrialisés, commercialisés les combustibles sont une source prédominante non seulement pour la production économique, mais aussi pour de nombreuses tâches ménagères de la population générale.

Exemples : Électricité, lignite, charbon, pétrole, gaz naturel, etc.

Énergie non commerciale

Les sources d'énergie qui ne sont pas disponibles sur le marché commercial à un prix sont classées comme énergie non commerciale. Les sources d'énergie non commerciales comprennent les combustibles tels que le bois de chauffage, le bétail les excréments et les déchets agricoles, qui sont traditionnellement ramassés, et non achetés à un prix pratiqué surtout dans les ménages ruraux. Ceux-ci sont également appelés carburants traditionnels. L'énergie non commerciale est souvent ignorée dans la comptabilité énergétique.

Exemple : bois de chauffage, agro-déchets en milieu rural ; énergie solaire pour le chauffage de l'eau, la production d'électricité, pour le séchage des céréales, du poisson et des fruits; la traction animale pour le transport, le battage, le relevage de l'eau pour l'irrigation, le broyage de la canne à sucre ; l'énergie éolienne pour la production d'eau et d'électricité.

2.1.3 Énergie renouvelable et non renouvelable :

L'énergie renouvelable est une énergie obtenue à partir de sources essentiellement inépuisables. Des exemples de ressources renouvelables comprennent l'énergie éolienne, l'énergie solaire, l'énergie géothermique, l'énergie marémotrice et l'énergie hydroélectrique.

La caractéristique la plus importante de l'énergie renouvelable est qu'elle peut être exploitée sans rejet de polluants nocifs.

Les énergies non renouvelables sont les combustibles fossiles conventionnels tels que le charbon, le pétrole et le gaz, qui sont susceptibles de s'épuiser avec le temps.

2.1.4 Energie conventionnelle et non conventionnelle :

Énergie conventionnelle

Les ressources énergétiques conventionnelles qui sont traditionnellement utilisées depuis de nombreuses décennies et qui étaient couramment utilisées autour de la crise pétrolière de 1973 sont appelées ressources énergétiques conventionnelles, par exemple, les combustibles fossiles, les ressources nucléaires et hydrauliques.

Énergie non conventionnelle

Les ressources énergétiques non conventionnelles qui sont envisagées pour une utilisation à grande échelle après la crise pétrolière de 1973 sont appelées sources d'énergie non conventionnelles, par exemple solaire, éolienne, biomasse, etc.

2.2 Les différents types d'énergie:

Le tableau suivant résume les différents types d'énergie qui peut être utilisé pour produire de l'électricité

Sources d'énergie	Avantages	Inconvénients
Énergie fossile : - Pétrole - Gaz - charbon	Faciles à exploiter	- Production de CO2 - Épuisable
Énergie nucléaire	Pas cher	- Épuisable - Déchet radioactif

	Dégagement de Co2 minimisé	- Risque d'accident nucléaire
Énergie renouvelable : - eau - soleil (photovoltaïque) - vent - Biomasse (bois, plantes ...) - Géothermie	Inépuisables Peu ou non polluantes	- Ne peuvent être implantée de partout. - Coût plus élevé. - Faible puissance. - Fabrication recyclage des cellules photovoltaïque.

2.3 Les formes d'énergie:

On distingue deux types d'énergies : des énergies libres et des énergies stockées

2.3.1 Energies libres :

Le rayonnement : visible (lumière) ou invisible (ondes de radio, rayons X, etc.). Il s'agit, fondamentalement du déplacement dans l'espace de particules, le plus souvent des photons se propageant à la vitesse de la lumière (environ 300 000 km/s) ☐ La chaleur: un apport de chaleur conduit à une augmentation de température (par exemple, un radiateur) et inversement (réfrigérateur).

L'énergie cinétique : associée au mouvement.

L'électricité : Pour des raisons pratiques, cette forme a vu un développement industriel considérable. Ce n'est pas, à proprement parler, une énergie « visible » mais comme on sait qu'il s'agit du déplacement d'un « courant électrique » (en fait des électrons) dans des conducteurs, on peut qualifier de « libre » cette forme d'énergie.

2.3.2 Energie stockés :

S'il paraît difficile de stocker l'énergie sous forme de rayonnement ou de courant électrique (sauf peut-être dans un circuit supraconducteur), il est envisageable, en revanche, de stocker l'énergie sous forme de : chaleur : l'énergie géothermique, constituée de la chaleur emmagasinée au sein de la Terre dégagée par la radioactivité naturelle. ☐ Cinétique : le vent, dont l'éolienne capte l'énergie cinétique.

L'énergie gravitationnelle (la force de la pesanteur) peut trouver davantage d'applications industrielles. Limitons-nous à deux exemples :

- L'horloge à poids, à qui l'on fournit de l'énergie en remontant le poids et qui l'utilise ensuite au fil des jours pour vaincre les frottements des mécanismes;
- Le barrage hydroélectrique, dont le lac constitue une réserve disponible pour compléter, si nécessaire, d'autres sources de production d'électricité.

L'énergie chimique : utilise les forces, de nature électromagnétique, reliant les atomes au sein des molécules : en réarrangeant les atomes pour former de nouvelles molécules à partir des molécules initiales, Exemples: l'essence utilisée par une voiture, la pile électrique ou la batterie, etc...

L'énergie nucléaire : Elle dépend d'un combustible fissile, l'uranium, dont le minerai est contenu dans le sous-sol de la Terre. Elle permet de produire de l'électricité, dans les centrales nucléaires, appelées centrales électronucléaires, grâce à la chaleur dégagée par la fission d'atomes d'uranium.

2.4 Principe de la production de l'énergie électrique :

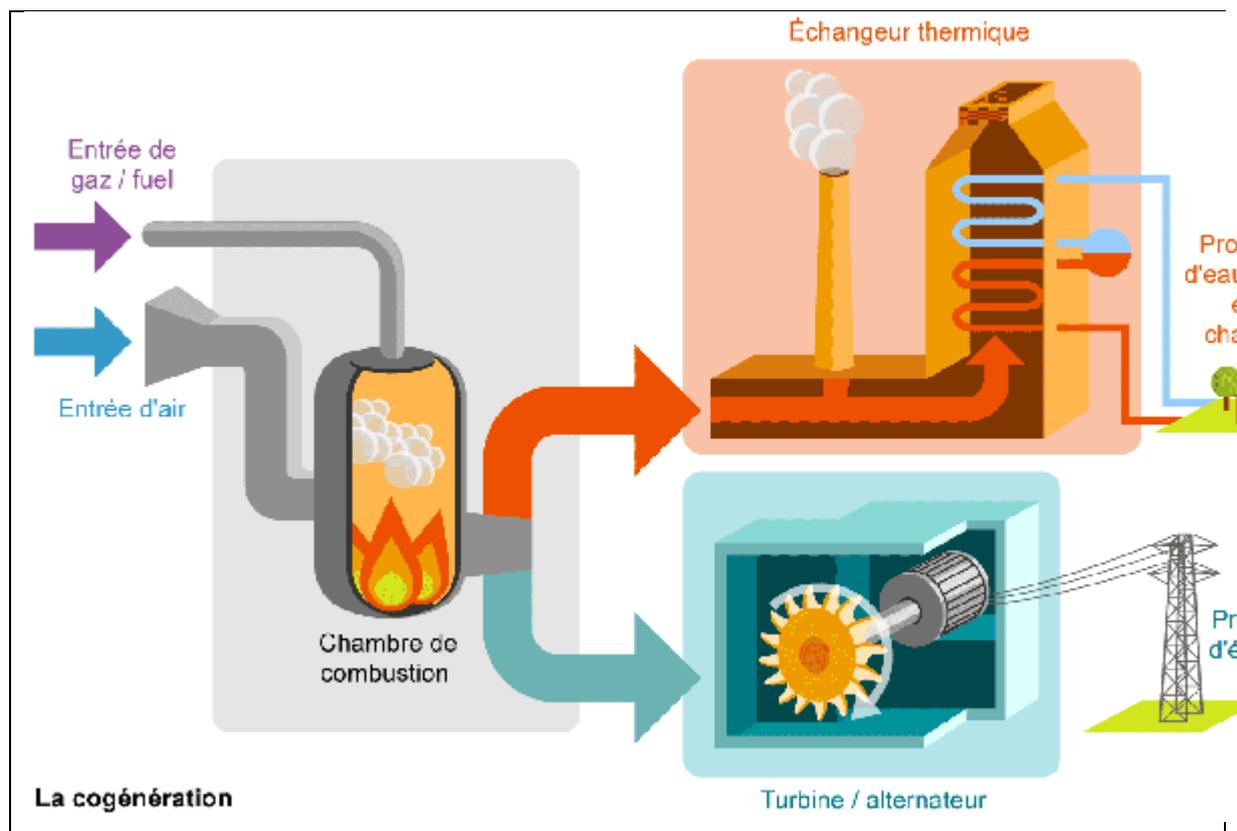
L'énergie électrique peut être produite de plusieurs façons, par exemple à partir de réactions chimiques, de chaleur, de lumière ou d'énergie mécanique. La grande majorité de notre énergie électrique est produite par des centrales électriques situées dans tous les pays, qui convertissent l'énergie produite par la combustion du charbon, du pétrole ou du gaz naturel, par la chute d'eau ou par des réactions nucléaires en énergie électrique. Les générateurs électriques de ces centrales sont entraînés par des turbines à vapeur ou à gaz, ou par des turbines hydrauliques dans le cas des centrales hydroélectriques.

Diverses autres méthodes, dont certaines sont au stade expérimental, pourraient devenir de futures méthodes de production d'électricité. Ceux-ci comprennent les cellules solaires, les systèmes géothermiques, les systèmes éoliens, les systèmes magnétohydrodynamiques (MHD), les systèmes de fusion nucléaire et les piles à combustible.

2.5 Système à combustible fossiles :

Il y a des millions d'années, d'importants dépôts de matières organiques se sont formés sous la surface de la terre. Ces gisements, qui fournissent notre charbon, notre pétrole et notre gaz naturel, sont connus sous le nom de combustibles fossiles.

Un système d'alimentation à combustible fossile de base est illustré à la Figure suivante.



Dans ce type de système, un combustible fossile (charbon, pétrole ou gaz) est brûlé pour produire de l'énergie thermique. La chaleur du processus de combustion est concentrée dans

une chaudière où l'eau en circulation est convertie en vapeur. La vapeur à haute pression est utilisée pour faire tourner une turbine. L'arbre de la turbine est relié directement au générateur électrique et fournit l'énergie mécanique nécessaire pour faire tourner le générateur.

Le générateur convertit alors l'énergie mécanique en énergie électrique. Combustibles fossiles

Les combustibles fossiles sont utilisés pour fournir de la chaleur, au moyen de réactions chimiques, à de nombreuses fins différentes. Ces carburants contiennent des matériaux carbonés qui sont brûlés en raison de leur réaction avec l'oxygène. Ces combustibles fossiles sont utilisés comme source directe de chaleur lorsqu'ils sont brûlés dans un four, et sont utilisés comme source de chaleur pour la production de vapeur lorsqu'ils sont utilisés dans un système de chaudière de centrale électrique.

La vapeur générée est utilisée pour faire tourner les turbines à vapeur des centrales électriques.

Les combustibles fossiles varient selon leur état naturel (solide, liquide ou gaz), leur capacité à produire de la chaleur et le type de flamme ou de chaleur qu'ils produisent. Le charbon et le coke sont des combustibles fossiles solides, et le charbon est largement utilisé pour produire de la chaleur afin de soutenir la production d'électricité. Gaz de pétrole et le carburant diesel, qui sont des combustibles fossiles liquides dérivés du traitement du pétrole, sont principalement utilisés en conjonction avec des moteurs à combustion interne.

Cependant, le pétrole est utilisé comme source de chaleur pour de nombreuses centrales électriques. Le gaz naturel est le principal combustible gazeux utilisé pour la production d'électricité.

3. Constituant d'une centrale à vapeur:

3.1 Turbine à vapeur :

Les systèmes de turbines à vapeur sont maintenant utilisés pour produire plus de 80 % de l'énergie électrique utilisée dans beaucoup de pays du monde. La force de la vapeur produit un mouvement rotatif (énergie mécanique) dans une turbine à vapeur. Cette énergie mécanique est convertie en énergie électrique par des générateurs triphasés reliés par un arbre commun. Les systèmes à combustible fossile et les systèmes à fission nucléaire utilisent des turbines à vapeur comme moteurs principaux (producteurs de mouvement rotatif).

Une turbine à réaction canalise la vapeur à grande vitesse à travers un ensemble de pales montées sur un arbre rotatif. La turbine à réaction comporte généralement plus d'un jeu d'aubes, chaque jeu ayant un diamètre différent. Lorsque la vapeur passe à travers la première section de pales, sa pression est réduite et son volume est augmenté. En raison du volume accru, les sections supplémentaires de lames doivent avoir des diamètres plus grands et des ensembles de lames plus longs.

Ces sections d'aubes combinées dirigent la vapeur à grande vitesse de manière à ce qu'une force de rotation maximale soit produite par la turbine.

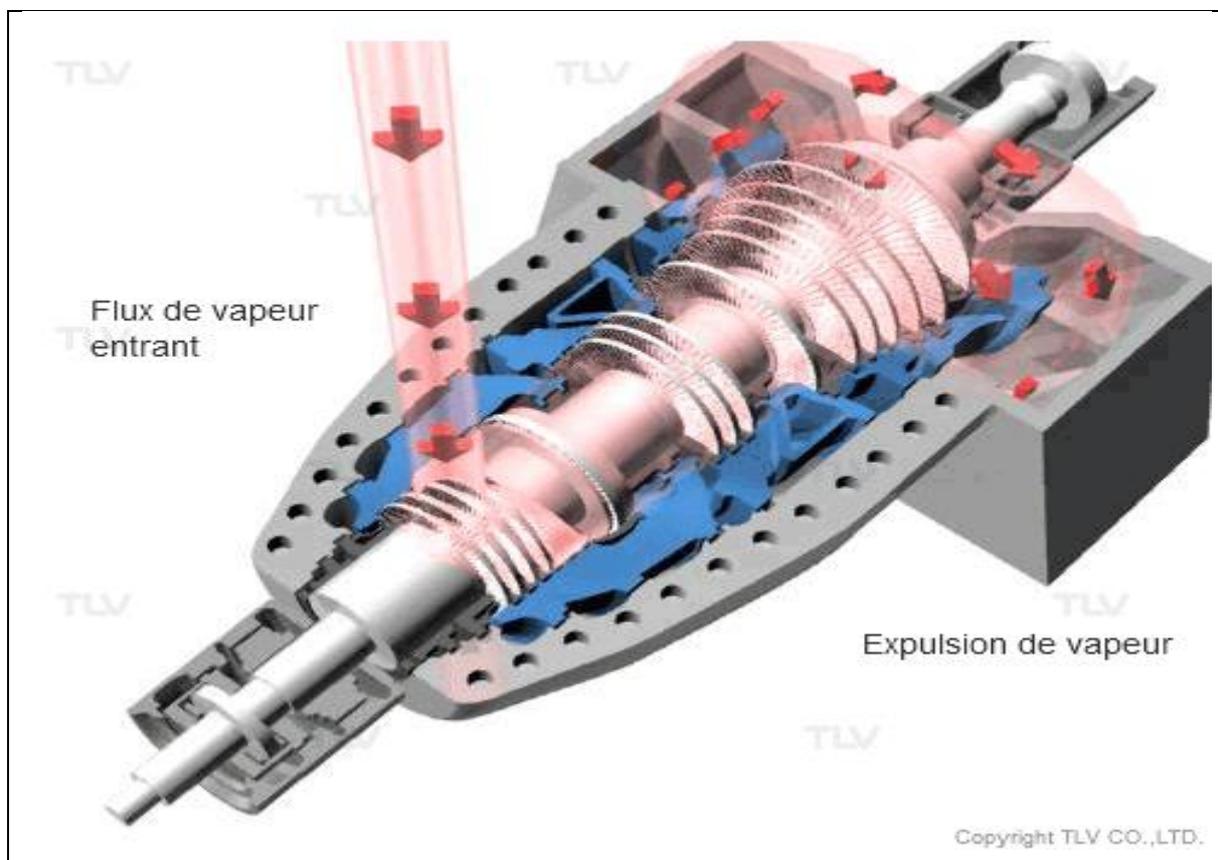
La conception d'une turbine à vapeur est très critique pour la production efficace d'énergie électrique. Plusieurs caractéristiques des turbines à vapeur posent des problèmes de conception. Les turbines à vapeur doivent fonctionner à des vitesses de rotation élevées, de sorte que les pales doivent être conçues pour résister à une énorme force centrifuge. Les ensembles rotor et pales des turbines à vapeur sont généralement usinés à partir d'une pièce forgée en alliage de chrome et d'acier. Cette assemblée doit être très précisément équilibrée avant la mise en marche de la machine.

Les fuites de vapeur du rotor fermé et de l'ensemble de lames doivent être évitées. Les joints pleins ne peuvent pas être utilisés le long de l'arbre du rotor, c'est pourquoi des joints dits "vapeur" sont utilisés pour fournir un jeu minimum entre les joints et l'arbre. Les paliers d'une

turbine à vapeur doivent être soigneusement conçus pour résister à la fois à des pressions axiales et d'extrémité de grande ampleur.

Les turbines à vapeur utilisées dans la production d'électricité doivent tourner à vitesse constante. Si la vitesse de la turbine change, la fréquence de la tension de sortie du générateur sera modifiée par rapport à la valeur standard de 60 Hz. Par conséquent, un système de régulateurs est utilisé dans une turbine à vapeur pour réguler sa vitesse.

Le système de régulateur ajuste la vitesse de la turbine en compensant les variations de la demande de puissance du générateur. Au fur et à mesure que la charge est placée sur le générateur (augmentation de la consommation d'énergie électrique), le générateur offre une résistance accrue à la rotation. Ainsi, la puissance absorbée par la turbine doit être augmentée en conséquence. Le système de régulateur de la turbine ajuste automatiquement l'entrée de vapeur aux aubes de turbine pour compenser les augmentations et les diminutions de la demande de charge placée sur le générateur qu'il entraîne.



3.2 La chaudière:

Les chaudières sont une partie importante des systèmes de production d'énergie à vapeur. La fonction d'une chaudière est de fournir une enceinte dans laquelle l'eau sous pression peut être chauffée à une température élevée pour produire une zone à travers laquelle l'eau sous pression s'écoule, et l'eau est convertie en vapeur grâce à cette procédure.

Le transfert de chaleur dans une chaudière utilise les trois méthodes de transfert de chaleur : rayonnement, convection et conduction. La méthode de rayonnement implique le mouvement de l'énergie thermique d'une zone chaude vers une zone froide et dépend de la différence de température et de la capacité des matériaux à absorber la chaleur. La méthode de conduction nécessite un contact entre la source de chaleur et la zone chauffée et repose sur la conductivité thermique du matériau chauffé. La convection est le mouvement de la chaleur d'une zone chaude vers une zone plus froide au moyen d'une substance intermédiaire, telle qu'un gaz. Chacune de ces trois méthodes de transfert de chaleur se produit en quantités variables, selon la conception de la chaudière.

Une chaudière qui fonctionne correctement est une partie très critique de la puissance système de production, car le fonctionnement de la chaudière détermine la quantité de vapeur disponible pour produire le mouvement de rotation de la turbine. Lorsque plus de puissance d'entrée pour le processus de génération est nécessaire en raison d'une charge accrue sur le système, la chaudière doit fournir plus de vapeur à la turbine.

Les chaudières doivent être en mesure de fournir une circulation d'eau efficace, une combustion efficace du combustible et un transfert de chaleur maximal vers l'eau en circulation. Les chaudières utilisées aujourd'hui dans la plupart des centrales à vapeur sont appelées chaudières à tubes d'eau.

Leur conception consiste en des bancs de tubes, séparés par une isolation thermique ; l'eau circule dans les tubes à haute température et haute pression. La conception de la chaudière est très importante pour une centrale à vapeur efficace.

3.3 Les condensateurs et purificateurs:

Les condenseurs et les purificateurs d'eau d'alimentation utilisés dans les centrales à vapeur sont également importants dans la production d'énergie. Les condenseurs sont utilisés pour refroidir la vapeur utilisée qui a traversé la turbine à vapeur. L'eau condensée est recyclée en continu dans le système. Les purificateurs d'eau d'alimentation sont utilisés pour nettoyer les impuretés de l'eau d'alimentation, qui est obtenue à partir d'une source d'eau située à côté de la centrale électrique. Les épurateurs d'eau d'alimentation jouent un rôle important dans le fonctionnement des centrales électriques. Sans eux, le métal utilisé dans la construction de la chaudière se corroderait, produisant une accumulation de laitier sur les parois de la chaudière, qui finirait par détruire

la chaudière. De plus, les impuretés présentes dans la vapeur peuvent endommager les aubes de précision utilisées dans les turbines à vapeur. De plus, les gaz contenus dans l'eau d'alimentation doivent également être éliminés. Ces gaz sont éliminés par une unité appelée dégazeur.

La quantité d'eau d'alimentation qui atteint la turbine à vapeur sous forme de vapeur dépend de la quantité d'évaporation qui a lieu dans le système. Dans la centrale électrique, une analyse comparative doit être faite de la quantité d'eau entrant dans la chaudière et de la quantité de vapeur sortant de la turbine à vapeur. Les ajustements du débit d'eau d'alimentation sont basés sur cette comparaison.

4. Les principes d'intervention pour un système de production électrique :

- L'électricité est différente des autres formes d'énergie dangereuse, car elle est à la fois indétectable par les sens humains et potentiellement immédiatement mortelle au contact. Étant donné que nous utilisons l'électricité tous les jours et partout dans notre vie, cela nécessite une large application de méthodes de construction d'équipements spécialisés et de pratiques de travail sécuritaires pour prévenir les blessures graves ou la mort.

- Tous les équipements électriques doivent être installés et utilisés conformément aux instructions du fabricant. L'équipement doit être approuvé pour une utilisation et ne doit pas être modifié ou utilisé en dehors de son intention d'approbation.

Une formation suffisante est nécessaire pour interagir en toute sécurité avec l'équipement électrique. Les opérateurs doivent être formés pour faire fonctionner l'équipement conformément à son intention de conception et pour ne pas contourner les contrôles techniques.

Le personnel chargé de l'entretien, de la modification, de la réparation ou de la construction d'équipements électriques doit être en mesure de reconnaître les dangers et d'établir des contrôles pour éviter les blessures. Ce personnel est appelé électricien qualifié.

L'aspect le plus fondamental de la formation est la capacité de tester avant de toucher. Sans un sens humain inné pour détecter une condition dangereuse, le technicien doit comprendre comment utiliser correctement l'équipement de test pour prouver une condition de travail électriquement sûre.

Les travaux de réparation sous tension sont considérés comme extrêmement dangereux et sont généralement interdits. Des exceptions peuvent être faites mais nécessitent une justification détaillée et l'approbation de la haute direction

Dans la mesure du possible, tous les travaux effectués sur l'équipement seront effectués hors tension. Afin de prouver et de maintenir la mise hors tension, le technicien doit suivre un processus strict pour établir une condition de travail électriquement sûre. Ce processus implique à la fois le verrouillage/étiquetage et le test avant le toucher. Parce que c'est si fondamental pour un travail électrique sûr Certaines combinaisons de commutation, de test et de sécurité peuvent impliquer une complexité procédurale importante. Dans ces cas, des plans de travail écrits sont élaborés, examinés et approuvés à l'avance par des parties bien informées et exécutés avec une procédure formelle

Un bon positionnement du corps doit faire partie intégrante des habitudes de travail quotidiennes et de la planification détaillée du travail. Ce principe est intégré dans les limites

de protection contre les chocs et les arcs électriques, mais doit également être souligné dans tout, des activités de commutation de routine à la mise en place de barrières et de barricades.

Chapitre II

LES ENERGIES RENOUVELABLES

1. Les différentes sources d'énergies renouvelables :

1.1 Introduction :

Les systèmes éoliens et photovoltaïques (PV) sont les types les plus reconnaissables de systèmes d'énergie renouvelable que nous voyons aujourd'hui. Il existe de nombreuses autres sources d'énergie considérées comme renouvelables, notamment l'hydroélectricité, le solaire thermique, la mer, la géothermie et la bioénergie. Plusieurs de ces systèmes sont implantés depuis de nombreuses années, comme les systèmes hydroélectriques. Les centrales hydroélectriques continuent de fournir de grandes quantités d'électricité à notre réseau électrique, et le potentiel de croissance est limité. D'autres systèmes en sont encore à leurs balbutiements bien qu'ils aient un énorme potentiel, comme l'énergie marine, qui comprend l'énergie marémotrice et l'énergie des vagues. Ce chapitre décrira brièvement certains des potentiels et des limites des « autres » sources renouvelables et fournira des références à de très bons manuels et documents qui décrivent ces technologies en détail.



Les centrales hydroélectriques fournissent actuellement environ 20 % de la production électrique mondiale [9]. La production hydroélectrique est une partie très essentielle du réseau électrique, car la production peut être contrôlée pour compléter les sources de production variables telles que le vent. Les centrales hydroélectriques sont efficaces à de faibles niveaux de production et peuvent être utilisées pour suivre les changements prévus et imprévus de la demande des consommateurs. Les générateurs hydroélectriques peuvent réagir en quelques minutes à un changement de la demande. Les systèmes de stockage par pompage sont également utilisés pour répondre aux changements de la demande. L'eau est pompée vers un réservoir de stockage supérieur la nuit lorsque la demande est faible et libérée pour la production pendant les périodes de forte demande. Bien que bon nombre des sites les plus attrayants aient été exploités avec des systèmes hydroélectriques, il existe des endroits où cette technologie peut être développée.



Les systèmes marins sont composés de générateurs d'énergie marémotrice et houlomotrice. L'énergie marémotrice a le potentiel de fournir une grande partie de la consommation mondiale d'énergie, mais des systèmes efficaces n'ont pas été développés. Un problème avec la marée est d'environ deux fois par jour. Les marées de printemps (relation en phase de la lune et du soleil) et les marées mortes (relation déphasée) entraînent également une variabilité supplémentaire de la puissance. Les turbines à faible chute et la génération bidirectionnelle sont des caractéristiques qui n'ont pas été développées pour l'énergie marémotrice. Les systèmes houlomoteurs ont également un grand potentiel de production d'énergie, mais la technologie et le capital nécessaire pour capter l'énergie des vagues océaniques ne se sont pas développées.

Certains des problèmes incluent la faible fréquence des grosses vagues et la variabilité du vent selon la saison. Les scientifiques ont prévu que l'énergie des vagues dans nos océans a un potentiel de 2 000 TW, soit environ le double de la capacité mondiale actuelle.

Les systèmes de bioénergie ou de biomasse sont similaires aux systèmes de combustibles fossiles dans la construction et l'exploitation. Une chaudière et une turbine à vapeur produisent de l'énergie à partir de l'énergie fournie par le combustible stocké avec une densité d'énergie limitée. La densité du combustible limite la distance entre les centrales bioélectriques et la source, et la taille des centrales est généralement limitée à 100-500 kW. Bien que les systèmes de biomasse à combustion directe puissent réduire la demande de pétrole importé, le procédé présente plusieurs inconvénients. Le carburant concurrence les cultures vivrières et peuvent provoquer une pénurie ou augmenter les prix des denrées alimentaires. L'impact environnemental de la production de CO₂ et de la pollution existe également.



Des systèmes électriques solaires thermiques sont utilisés à plusieurs endroits dans le monde depuis environ 20 ans. Le système utilise des miroirs pour concentrer le rayonnement solaire direct pour une chaudière, qui entraîne le générateur électrique. Les ciels nuageux et les rayonnements diffus ne conviennent pas à cette technologie. Les collecteurs paraboliques sont également utilisés pour forcer le rayonnement sur un système de tuyauterie qui transfère la chaleur à un échangeur de chaleur/chaudière où de la vapeur est produite pour entraîner un générateur. Les petits systèmes utilisent des concentrateurs paraboliques qui fonctionnent à des températures élevées et conviennent à la production électrique distribuée.

1.2 Les panneaux photovoltaïques :

1.2.1 Introduction :

Par rapport aux autres sources d'énergie renouvelables (SER), l'énergie solaire est une source d'énergie à faible densité qui nécessite de vastes zones d'exploitation. En outre, la technologie solaire photovoltaïque (PV) a un énorme potentiel de déploiement là où la quantité de rayonnement solaire mondial par an est très élevée. Cependant, l'un des obstacles au développement de l'énergie solaire est l'incohérence et la variabilité de l'irradiation solaire qui peut être géographiquement dissemblable d'un site à l'autre. La sélection d'un site approprié est une étape cruciale vers le développement d'un projet solaire photovoltaïque réalisable à grande échelle. Bien que l'échelle d'utilité

PV considéré comme des projets PV à grande échelle pouvant générer au moins 5 MW. Tout au long de la recherche sur l'énergie solaire, une question commune existe : quel est le site optimal pour le PV solaire de taille industrielle ? La réalisation d'une analyse complète du site solaire est la première étape pour garantir un projet solaire rentable et performant. De manière générale, le processus doit tenir compte des critères de décision ainsi que des facteurs de restriction qui doivent être évalués en raison de leurs impacts positifs ou négatifs sur la performance et le coût de l'électricité produite. De plus, connaître les sites potentiels est une étape stratégique principalement pour la prévision de la production annuelle des centrales électriques ainsi que pour la viabilité financière.



Remarque :

Bien que les installations photovoltaïques (PV) ne représentent à l'heure actuelle qu'un faible pourcentage de la production totale d'électricité, celles-ci connaissent une croissance rapide, tant pour les applications de production d'électricité commerciale que décentralisée. Les réductions des coûts liées aux avancées technologiques, les économies d'échelle en matière de production et les innovations relatives au financement ont permis à l'énergie solaire de se rapprocher de la parité de réseau sur un nombre croissant de marchés. Les progrès constants et des réductions de coûts supplémentaires permettront d'augmenter ces possibilités, notamment dans les pays en voie de développement caractérisés par des conditions propices à l'exploitation de l'énergie solaire.

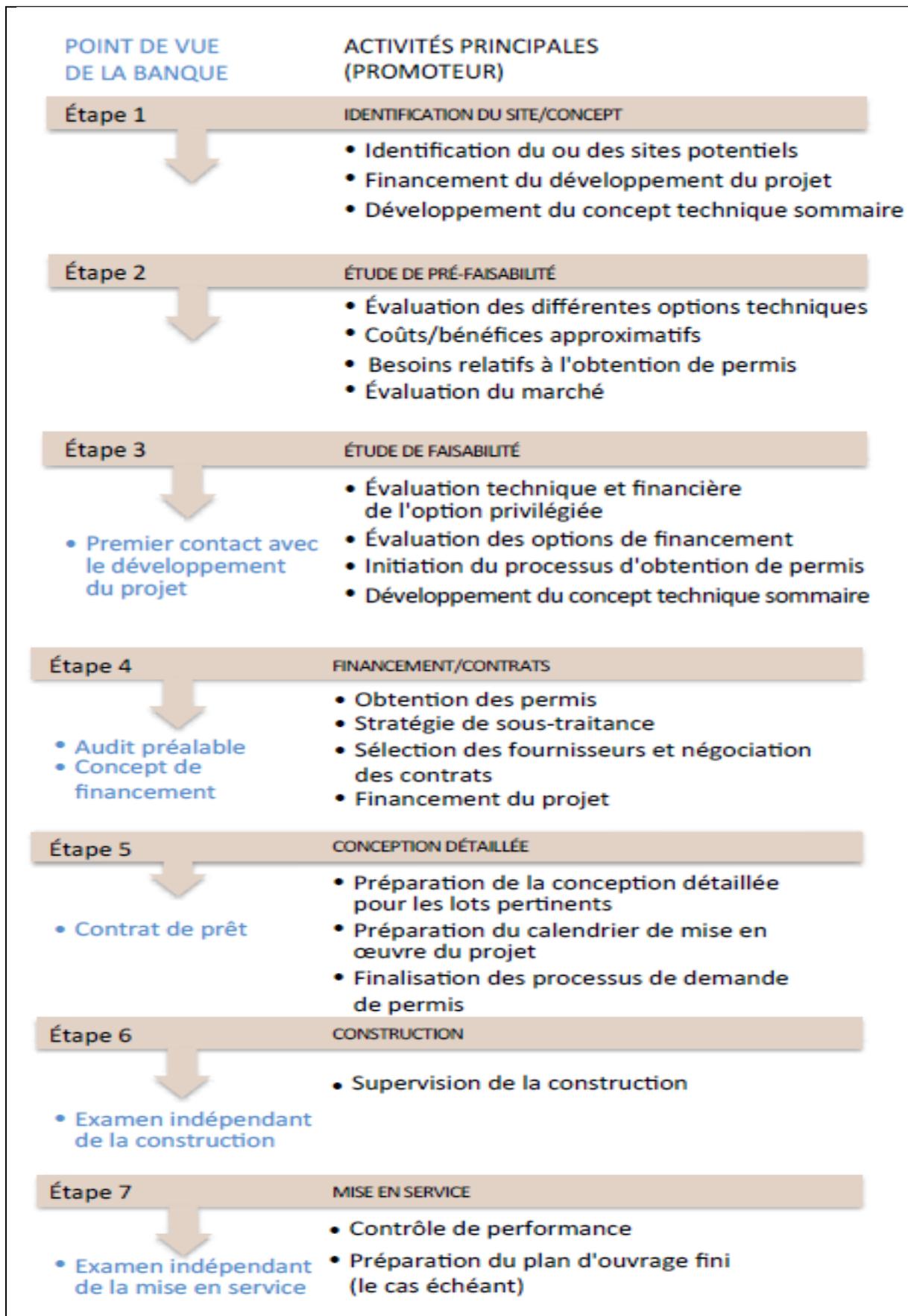
1.2.2 DÉVELOPPEMENT DU CONCEPT ET IDENTIFICATION DU SITE :

Avant l'installation du projet de développement d'énergies à partir de panneau photovoltaïque il faut suivre les étapes suivantes :

- IDENTIFICATION DU SITE
- LE PROJET PV
- APERÇU DE LA STRUCTURE DU PROJET
- LE CADRE RÉGLEMENTAIRE ET LES MÉCANISMES D'APPUI
- AUDIT PRÉALABLE DU PRENEUR
- STRATÉGIE DE FINANCEMENT

En effet, L'étape de développement du concept inclut l'identification de l'opportunité d'investissement sur un site spécifique et la formulation d'une stratégie pour le développement de projet.

Les différentes étapes sont résumées dans la figure suivante :



Pour vérifier les étapes de pré faisabilité il faut voir les étapes suivantes :

Liste de vérification de l'étape de pré faisabilité

Vous trouverez ci-dessous une liste de vérification des principales considérations devant être prises en compte par le promoteur au cours de l'étape de pré faisabilité :

- Évaluation du site et des zones limites, et notamment des permissions et restrictions relatives à l'accès.
- Le plan conceptuel est réalisé, et les options technologiques et leurs impacts financiers ont été pris en compte.
- Les coûts approximatifs des terrains, de l'équipement, de la livraison, de la construction et de l'exploitation sont identifiés, ainsi que les recettes envisagées.
- Le rendement énergétique indicatif est calculé.
- Identification des tarifs de l'électricité anticipés qui seront perçus, et révision des modalités/conditions attendues des AAE dans le marché pertinent.
- L'analyse financière de haut niveau est réalisée.
- Le coût et la probabilité de parvenir au raccordement au réseau selon les échéances requises sont identifiés.
- Les principales contraintes environnementales sont identifiées, parallèlement à d'autres éléments susceptibles de mener le projet à l'échec.
- L'évaluation de l'environnement réglementaire actuel et futur potentiel est réalisée.
- Un plan initial de la structure juridique/sociale du projet.
- Des solutions aux défis du projet.
- Les exigences/coûts relatifs à l'obtention des permis sont identifiés.
- Le calendrier/flux de travail préliminaire du projet indiquant l'espace des activités clés est rédigé.

En effet, L'objectif d'une étude de pré faisabilité est de développer un plan préliminaire de la centrale et les exigences en termes d'investissement, permettant une évaluation plus poussée de la viabilité financière d'un projet.

Pour l'étude de faisabilité il faut vérifier les étapes suivantes :

Liste de vérification de la faisabilité

Vous trouverez ci-dessous une liste de vérification dédiée aux promoteurs, incluant les principales considérations devant être abordées au cours de l'étape de faisabilité.

- Le plan détaillé du site est produit.
- La ressource solaire est évaluée, avec une évaluation de l'ombrage.
- Les caractéristiques environnementales susceptibles d'affecter la performance sont identifiées.
- L'étude détaillée des aspects environnementaux et sociaux du projet est réalisée.
- Un examen détaillé des permis et licences requis est entrepris.
- Évaluation des dépenses en capital relatives aux options associées à la technologie et aux fournisseurs : l'analyse de rentabilité pour les options et la localisation du projet est réalisée.
- Des discussions préalables à la demande avec l'organe d'autorisation pertinent sont menées.
- Les consultations initiales avec les principales parties prenantes, y compris avec la communauté, sont tenues.
- L'étude du raccordement au réseau est réalisée.
- Les rendements énergétiques prévus sont déterminés.
- L'évaluation approfondie du tarif anticipé de l'électricité est entreprise.
- L'analyse financière est réalisée. Le financement préliminaire est planifié.
- Le plan de mise en œuvre du projet est développé.
- Les accords d'options relatives à l'accès au terrain (le cas échéant) sont sécurisés.
- L'évaluation et le plan de la structure commerciale du projet et de la ou des entreprises du projet sont réalisés.

1.3 Les éoliennes :

1.3.1 Introduction :

Souvent décrites comme étant à l'échelle des services publics en raison de leur application dans les centrales éoliennes alimentant les réseaux électriques, les éoliennes modernes à grande échelle sont généralement des machines à 3 pales à axe horizontal avec des rotors de 70,5 m de diamètre et des hauteurs de moyeu de 64,7 m comme le montre la figure suivante :

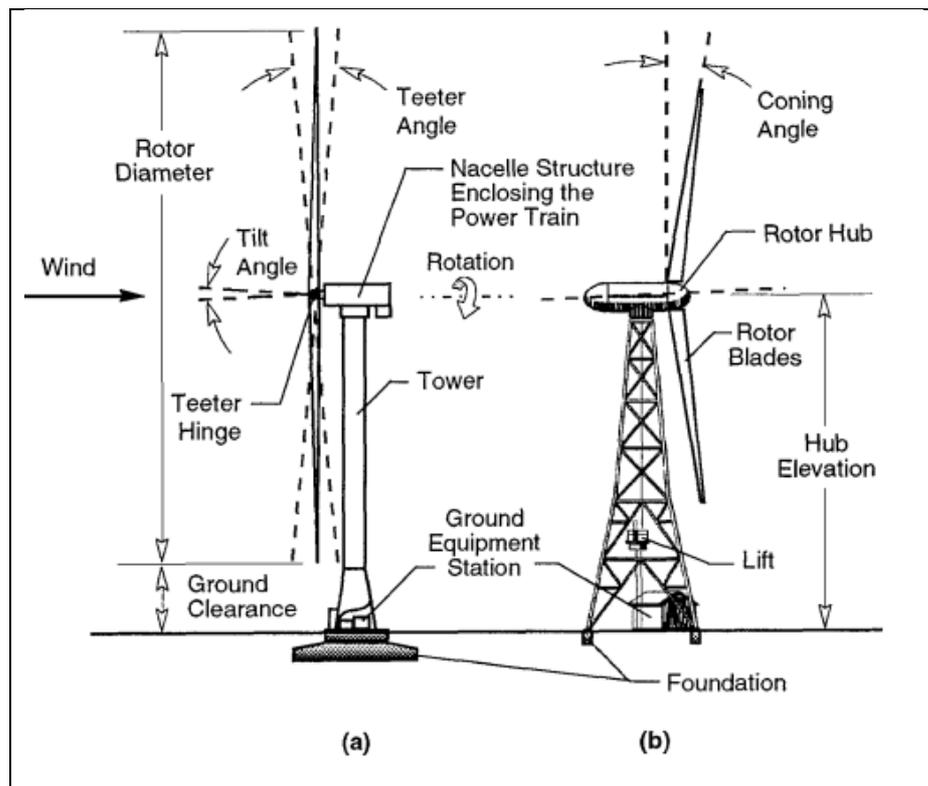


De nos jours des éoliennes offshore sont installées pour avoir une force de vent plus grande comme le montre la figure suivante :



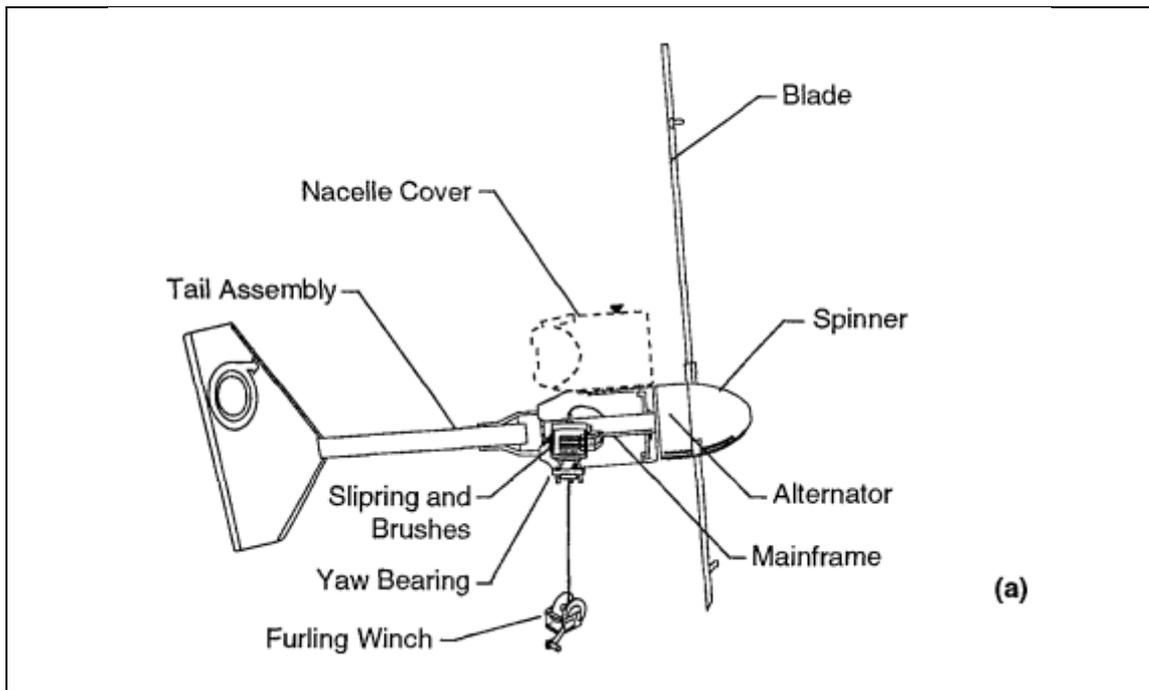
1.3.2 Configurations générales des éoliennes à axe horizontal :

La figure suivante représente les différents modules constituant l'éolienne à axe horizontale avec Les principaux sous-systèmes qui composent le système total de conversion de l'énergie éolienne sont (1) le rotor, (2) le groupe motopropulseur, (3) la structure de la nacelle, (4) la tour, (5) la fondation et (6) la station d'équipement au sol.

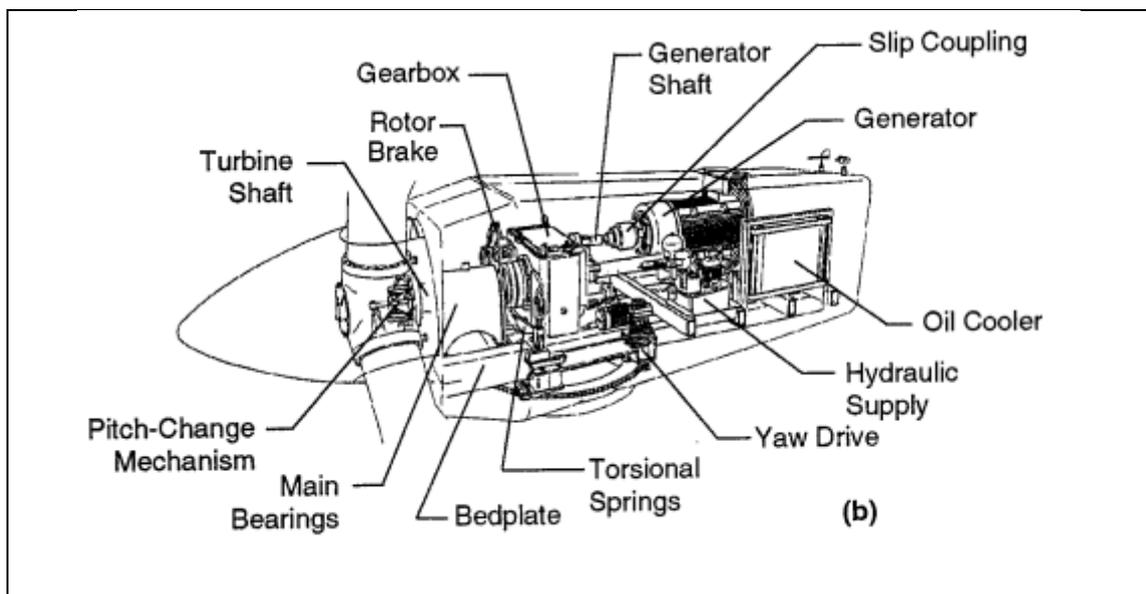


1.3.3 Le groupe motopropulseur :

Le groupe motopropulseur d'une éolienne est constitué de la série de composants mécaniques et électriques nécessaires pour convertir la puissance mécanique reçue du moyeu du rotor en puissance électrique. Dans un HAWT, cet équipement se trouve au sommet de la tour, donc un faible entretien est une exigence de conception importante. Des exemples de groupes motopropulseurs à petite, moyenne et grande échelle sont illustrés dans la figure suivante :



Et



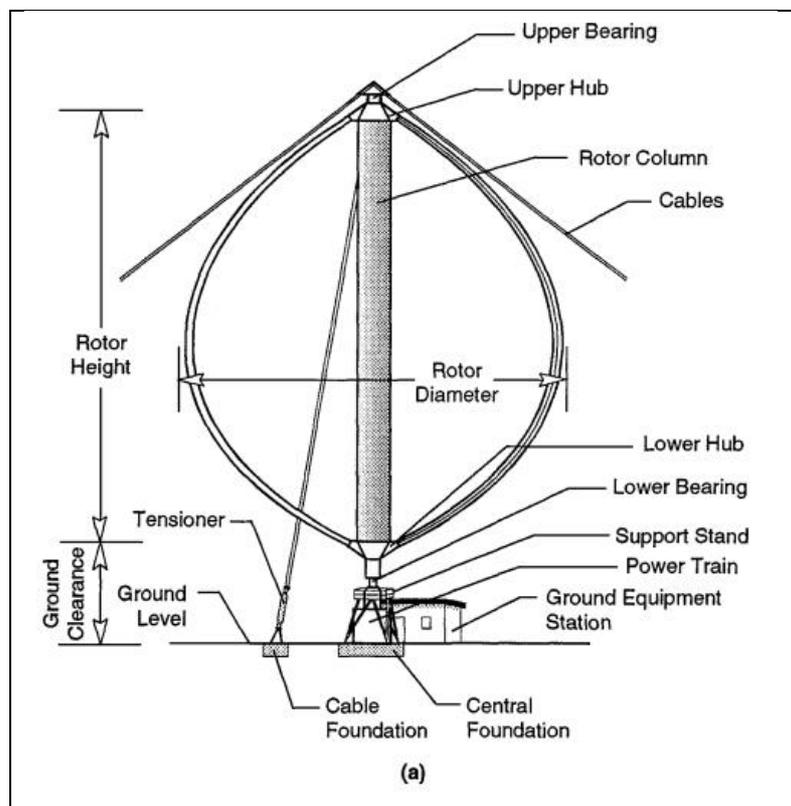
. Un groupe motopropulseur HAWT typique se compose d'un ensemble d'arbre de turbine (également appelé arbre à basse vitesse ou primaire), d'une boîte de vitesses augmentant la vitesse, d'un arbre d'entraînement de générateur (également appelé arbre à grande vitesse ou secondaire), d'un frein de rotor et un générateur électrique,

ainsi que des équipements auxiliaires pour les fonctions de contrôle, de lubrification et de refroidissement. Comme illustré dans

La première (a) et (b) figure une éolienne à petite échelle et quelques HAWT à moyenne et grande échelle ont un entraînement direct de la turbine au générateur, sans boîte de vitesses.

1.3.4 Configuration générale d'une éolienne à axe vertical:

Il existe plusieurs types d'éoliennes à axe vertical, chacune avec ses caractéristiques propres. La figure suivante présente la configuration générale d'un VAWT moderne



Ses principaux sous-systèmes sont (1) le rotor, (2) le groupe motopropulseur, (3) la structure de support, (4) les fondations et (5) la station d'équipement au sol. Bien que certains noms de sous-systèmes et de composants soient communs aux VAWT et aux HAWT, leurs configurations sont souvent très différentes. La symétrie autour de son axe vertical permet à

un VAWT d'accepter les vents de n'importe quelle direction, donc pas d'entraînement en lacet mécanique est nécessaire. C'est l'un de ses principaux avantages.

Chapitre III

SYSTEME SCADA POUR LA SUPERVISION DES RESEAUX ELECTRIQUES

2. Les systèmes SCADA

2.1 Introduction sur les systèmes SCADA:

Les systèmes de contrôle de surveillance et d'acquisition de données (SCADA) sont largement utilisés pour l'automatisation du secteur de l'énergie et représentent un domaine en évolution, avec de nouveaux produits et services ajoutés quotidiennement. Une étude détaillée des systèmes SCADA est essentielle pour que le personnel de l'automatisation de l'alimentation comprenne l'intégration des appareils, comprenne la communication entre les composants et assure une surveillance et un contrôle appropriés du système en général.

Il y avait sans aucun doute de nombreuses méthodes de contrôle à distance inventées par les premiers pionniers dans le domaine du contrôle de surveillance depuis longtemps oubliés. Le contrôle a probablement commencé avec un opérateur lisant une mesure et prenant une action de contrôle mécanique à la suite de cette mesure.

À mesure que la portée des applications de contrôle de surveillance a changé, il en a été de même pour bon nombre des principes fondamentaux de la technologie de contrôle de supervision. Au cours des premières années, tous les systèmes étaient électromécaniques. Les systèmes de supervision ont évolué pour utiliser des composants à semi-conducteurs, des capteurs électroniques et des convertisseurs analogique-numérique. Dans cette évolution, cependant, la même configuration d'unité terminale distante (RTU) a été conservée. Les entreprises fabriquant les RTU ont simplement mis à niveau leur technologie sans rechercher d'autres moyens d'exécuter les fonctions RTU. Dans les années 1980, le contrôle des processus

Les entreprises ont commencé à appliquer leur technologie et leur approche technique au marché des services publics d'électricité SCADA. En conséquence, les RTU utilisaient une logique basée sur un microprocesseur pour exécuter des fonctions étendues. L'application de microprocesseurs a augmenté la flexibilité des systèmes de supervision et a créé de nouvelles possibilités de fonctionnement et de capacités.

2.2 Objectifs des systèmes SCADA:

L'automatisation est utilisée dans le monde entier dans une variété d'applications allant de l'industrie du gaz et du pétrole, l'automatisation des systèmes électriques, le bâtiment l'automatisation, à l'automatisation des petites unités de fabrication. La terminologie SCADA est généralement utilisée lorsque le processus à contrôler est réparti sur une vaste zone géographique, comme les systèmes électriques. Les systèmes SCADA, bien qu'ils soient largement utilisés par de nombreuses industries, subissent des changements radicaux.

L'ajout de nouvelles technologies et de nouveaux appareils pose un sérieux défi aux éducateurs, chercheurs et ingénieurs en exercice pour se tenir au courant des derniers développements.

Les systèmes SCADA sont définis comme un ensemble d'équipements qui fournissent à un opérateur situé à distance des informations suffisantes pour déterminer l'état d'un équipement ou d'un processus particulier et provoquer des actions concernant cet équipement ou ce processus sans être physiquement présent.

La mise en œuvre de SCADA implique donc deux activités majeures : les données l'acquisition (surveillance) d'un processus ou d'un équipement et le contrôle de surveillance du processus, conduisant ainsi à une automatisation complète. L'automatisation complète d'un processus peut être obtenue en automatisant les actions de surveillance et de contrôle.

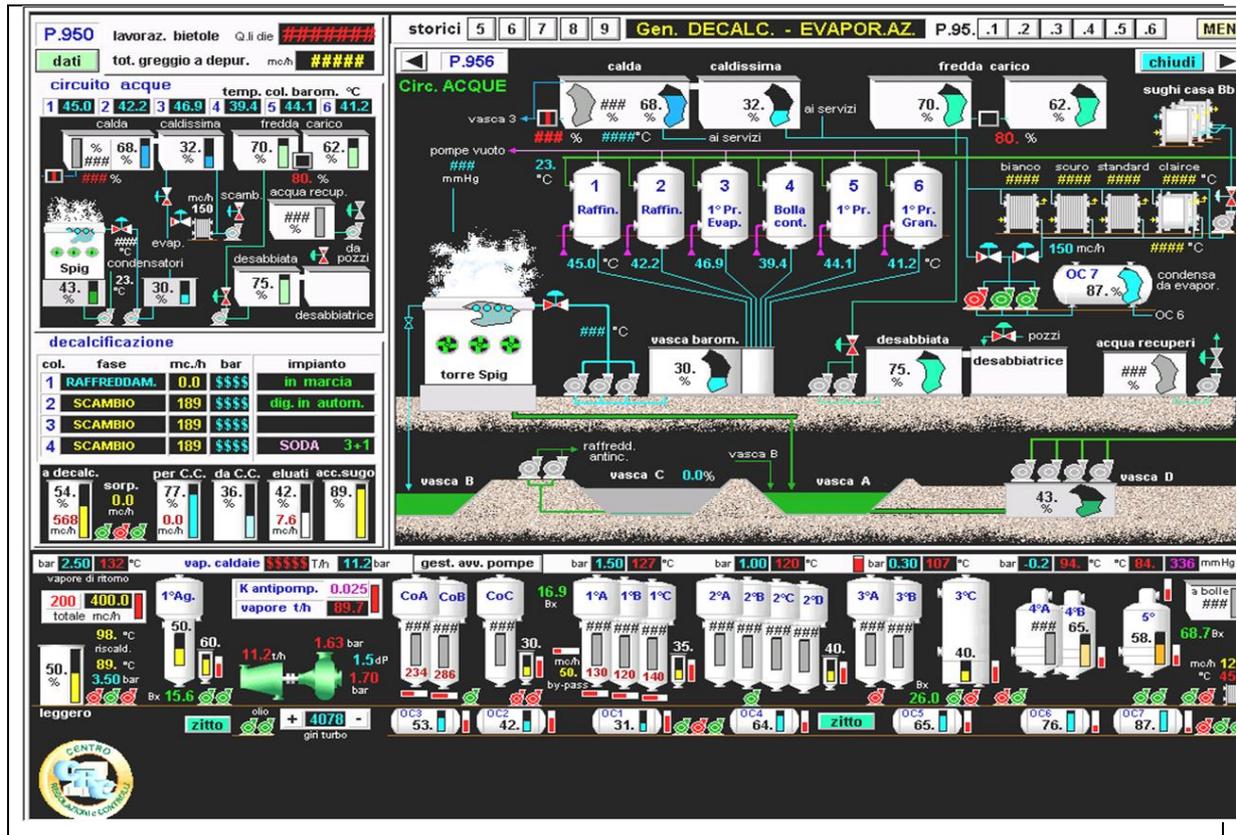
L'automatisation de la partie surveillance se traduit par un opérateur dans une salle de contrôle, capable de "voir" le processus à distance sur la console de l'opérateur, avec toutes les informations requises affichées et mises à jour aux intervalles de temps appropriés. Cela impliquera les étapes suivantes :

Collectez les données sur le terrain.

- Convertir les données sous forme transmissible.
- Regroupez les données en paquets.
- Transmettre les paquets de données sur les supports de communication.

- Recevez les données au centre de contrôle.
- Décodez les données.
- Afficher les données aux points appropriés sur les écrans d'affichage de l'opérateur

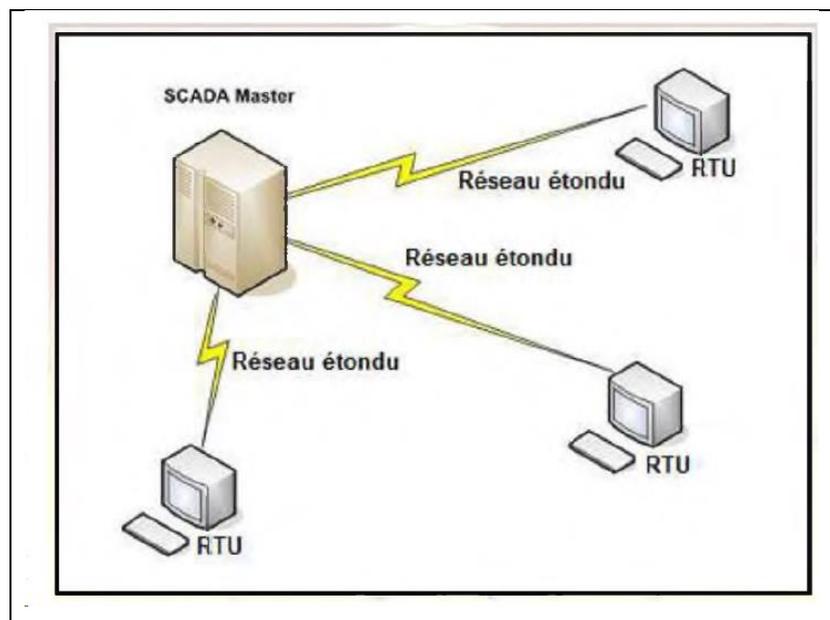
La figure suivante présente un système SCADA pour la gestion de l'énergie électrique :



2.3 Les différentes générations des systèmes SCADA:

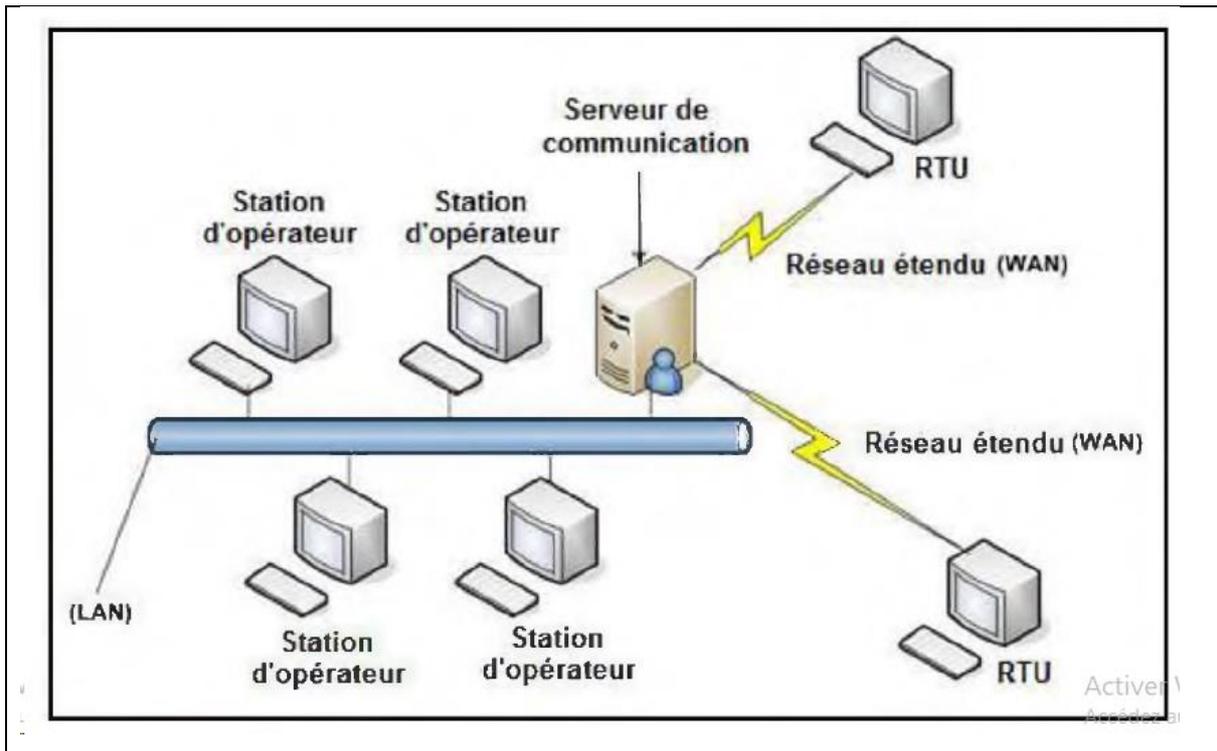
2.3.1 Première génération : "monolithique":

Les calculs sont réalisés avec des ordinateurs centraux. Les réseaux n'existant pas à cette époque, les systèmes SCADA sont indépendants et ne sont connectés à aucun autre système.



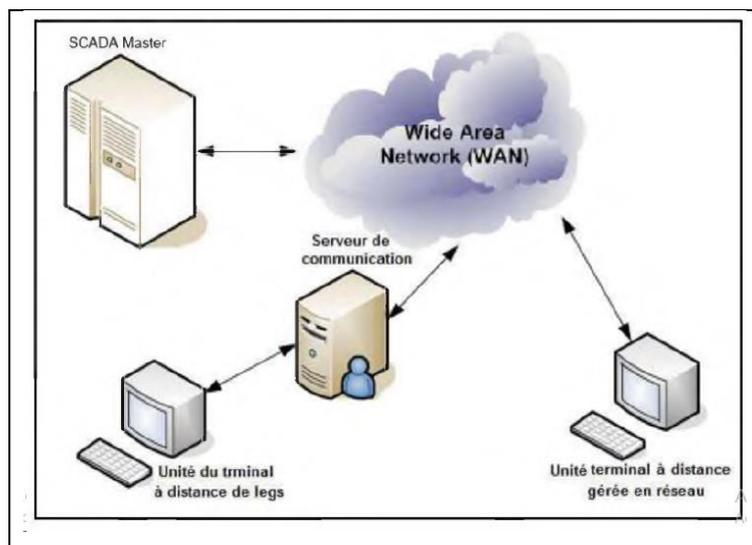
2.3.2 Deuxième génération : "distribuée":

Le traitement est réparti entre plusieurs stations reliées par un réseau local et qui échangent des informations en temps réel.



2.3.3 Troisième génération : "en réseau":

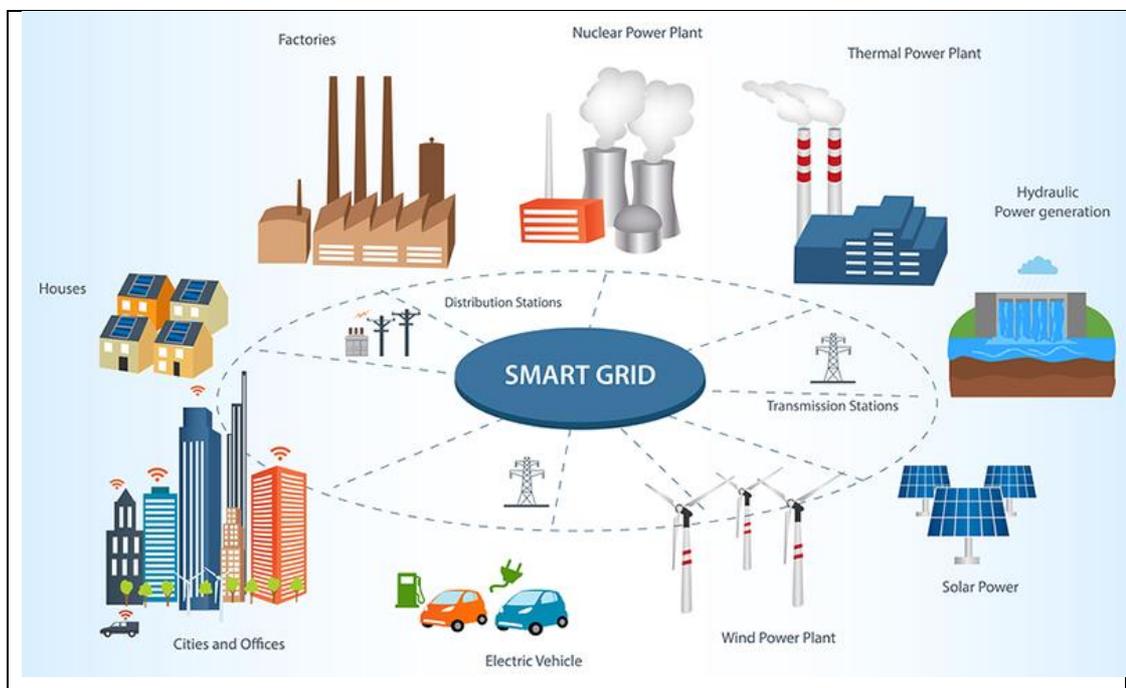
Grâce à l'utilisation de protocoles standards et le fait que de nombreux systèmes SCADA en réseau sont accessibles à partir d'Internet.



2.3.4 Quatrième génération : "Internet des objets" :

Avec la disponibilité commerciale du cloud computing, les systèmes SCADA ont de plus en plus adopté les technologies de l'Internet des objets pour réduire considérablement les coûts d'infrastructure et augmenter la facilité d'entretien et d'intégration.

En conséquence les systèmes SCADA peuvent désormais donner l'état presque en temps réel et utiliser les facteurs d'échelle permis par le cloud computing pour mettre en œuvre des algorithmes de contrôle plus complexes que ce qui peut être fait en pratique avec les automates programmables industriels

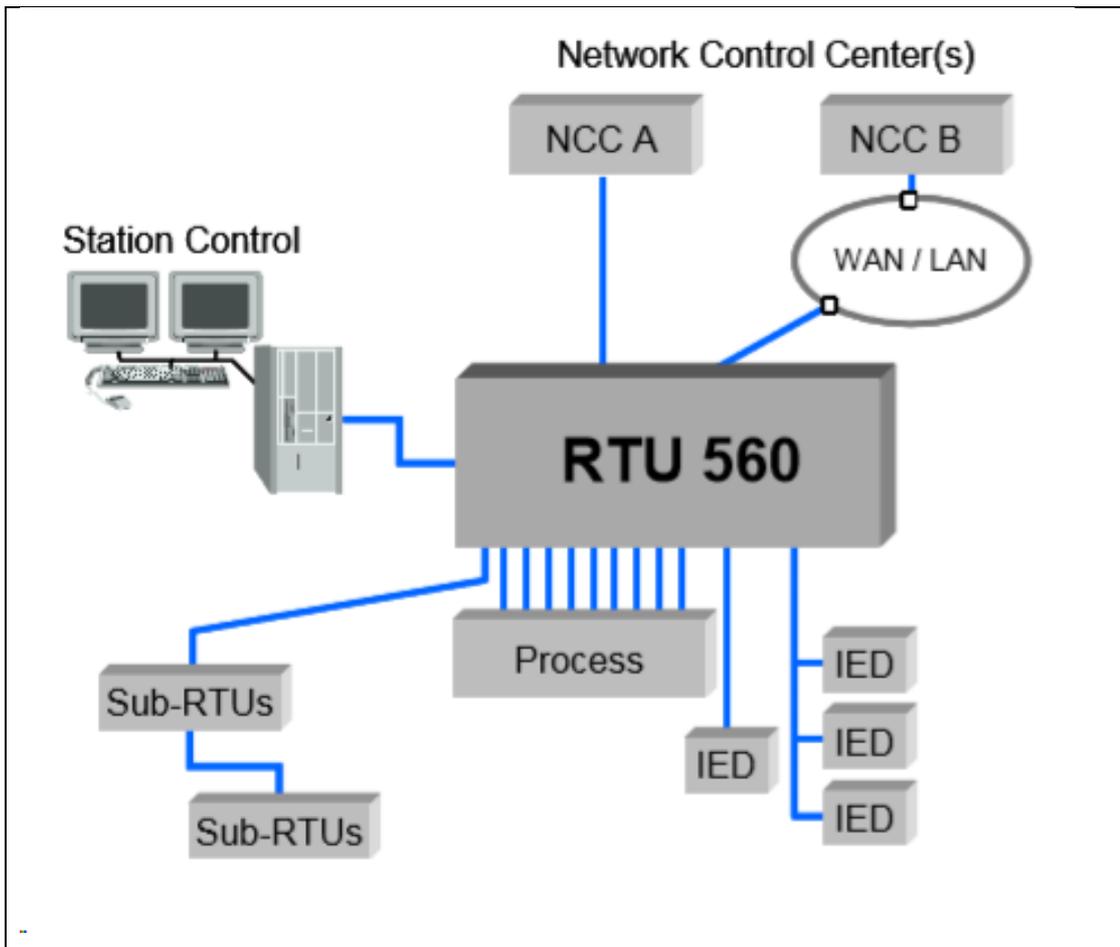


2.4 Les différents composants d'un système SCADA:

SCADA est une technologie intégrée composée des quatre principaux Composants:

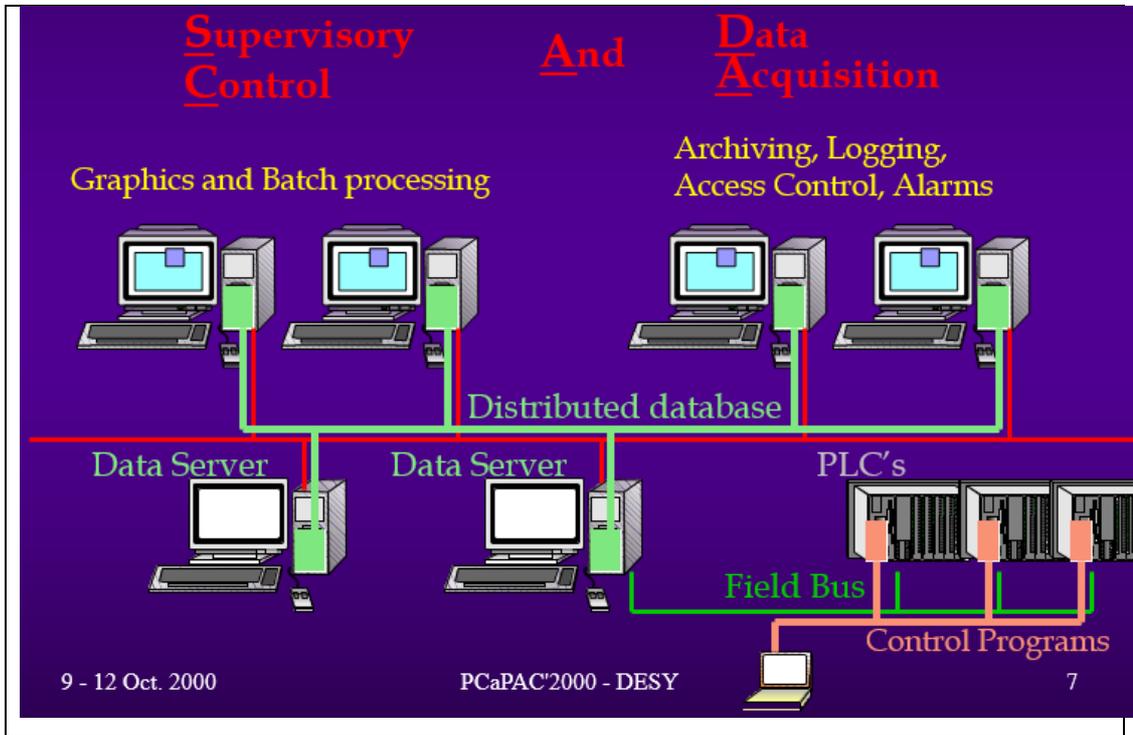
2.4.1 Le RTU : Remote Terminal Unit :

La RTU acquiert toutes les données de terrain de différents appareils de terrain, comme les yeux et les oreilles humains surveillent l'environnement, traitent les données et transmettent les données pertinentes à la station maître. Au même temps, il distribue les signaux de commande reçus de la station maître aux appareils de terrain, car la main humaine exécute les instructions du cerveau. Aujourd'hui, les dispositifs électroniques intelligents (IED) remplacent les RTU.



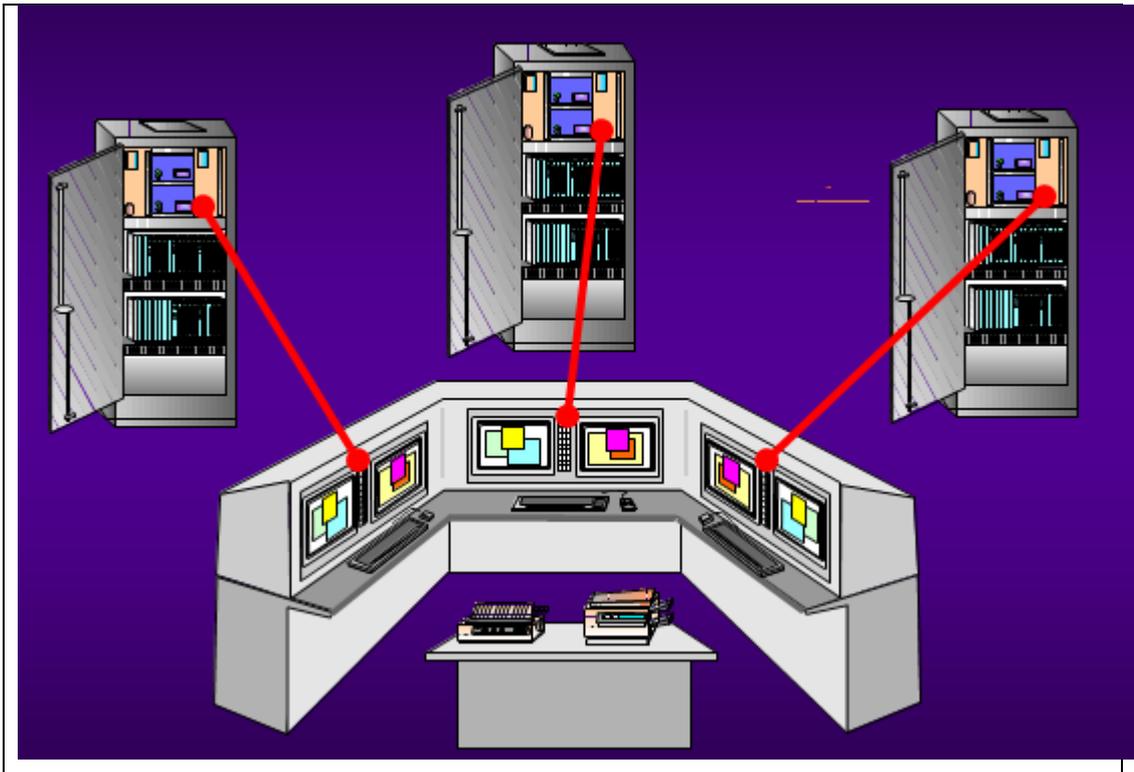
2.4.2 Le système de communication :

Il s'agit des canaux de communication utilisés entre l'équipement de terrain et la station maîtresse. La bande passante du canal limite la vitesse de communication.



2.4.3 Station maitre :

Il s'agit d'un ensemble d'ordinateurs, de périphériques et des systèmes d'entrée et de sortie (E/S) appropriés qui permettent aux opérateurs de surveiller l'état du système électrique (ou d'un processus) et de le contrôler.



2.4.4 Interface IHM :

IHM fait référence à l'interface nécessaire à l'interaction entre le poste maître et les opérateurs ou utilisateurs du système SCADA.



3. Le système SCADA pour le contrôle dans la distribution de l'électricité :

Les systèmes SCADA sont utilisés dans toutes les sphères d'exploitation du système électrique, de la production, à la transmission, à la distribution et à l'utilisation de l'énergie électrique. Les fonctions SCADA peuvent être classées en fonctions d'application de base et avancées.

3.1 Avantages du SCADA dans les systèmes électriques:

L'automatisation d'un système présente de nombreux avantages, et le cas des systèmes électriques n'est pas différent. Certains des avantages sont les suivants :

- Fiabilité accrue, car le système peut fonctionner avec des conditions moins sévères les imprévus et les pannes sont traités rapidement
- Réduction des coûts d'exploitation, car il y a moins d'implication du personnel en raison à l'automatisation • Rétablissement plus rapide de l'alimentation en cas de panne, car les défauts peuvent être détecté plus rapidement et des mesures prises
- Meilleure gestion de la puissance active et réactive, car les valeurs sont capturées avec précision dans le système d'automatisation et des mesures appropriées peuvent être prises
- Réduction des coûts de maintenance, car la maintenance peut être effectuée plus efficacement (passage de la maintenance basée sur le temps à la maintenance basée sur l'état) avec une surveillance continue de l'équipement.
- Réduction de l'influence humaine et des erreurs lors de l'accès aux valeurs automatiquement, et la lecture du compteur et les erreurs associées sont évitées
- Prise de décision plus rapide, car une mine d'informations est mise à la disposition de l'opérateur sur les conditions du système pour aider l'opérateur à prendre des décisions précises et appropriées
- Fonctionnement optimisé du système, car des algorithmes d'optimisation peuvent être exécutés et des paramètres de performance appropriés choisis.

Les services publics peuvent réaliser des économies importantes sur les coûts d'exploitation et de maintenance grâce à la mise en œuvre de SCADA. Des fonctions telles que la maintenance prédictive, le contrôle volt-var, les programmes d'autodiagnostic et l'accès aux données d'automatisation aident le service public à optimiser ses coûts en lui permettant de prendre des décisions plus éclairées sur les stratégies d'exploitation et de maintenance basées sur des données opérationnelles complètes et précises plutôt que les règles empiriques.

3.2 La production de l'électricité et le système SCADA:

L'électricité est produite aux centrales électriques et transmise sur le réseau de transport jusqu'au poste de distribution, d'où elle est distribuée aux consommateurs. Dans le scénario actuel, à ce système traditionnel, la production d'énergie renouvelable est ajoutée au transport et à la distribution, y compris chez le client. Par conséquent, les systèmes SCADA acquerront des données de tous ces composants, et une brève discussion de ces composants suit.

L'électricité produite atteint les locaux du client en passant par une variété de sous-stations qui sont classées comme suit :

- Poste de départ ou sous-stations de production
- Sous-stations d'alimentation en vrac ou sous-stations de réseau
- Sous-stations de distribution
- Sous-stations à usage spécial (par exemple, sous-station de traction, sous-station minière, sous-stations mobiles, etc.)

Une sous-station de transmission (sous-station de production ou de réseau) comprend généralement les composants suivants :

- Transformateurs (avec ou sans changeurs de prises)
- Bus de gare et isolateurs
- Transformateurs de courant
- Transformateurs de potentiel
- Disjoncteurs
- Sectionneurs (sectionneurs ou fusibles)
- Réacteurs, série ou shunt
- Condensateurs, série ou shunt
- Relais/IED relais

- Batteries de sous-station
- Piège à ligne ou à vague

3.3 Les types de données et de signaux dans le système électrique:

Dans la partie surveillance des systèmes SCADA, les données acquises peuvent être globalement classées en deux catégories : analogiques et numériques. Les données d'impulsion sont également acquises, conformément à l'exigence, dans le cas d'une fonction d'accumulation de comptage, comme les données de compteur d'énergie.

3.3.1 Signaux analogiques :

Les données analogiques impliquent tous les signaux continus variant dans le temps provenant du champ et sont généralement considérées dans un contexte électrique ; cependant, mécanique, les systèmes pneumatiques, hydrauliques et autres peuvent également transmettre des signaux analogiques.

Les exemples sont la tension, le courant, la pression, le niveau et la température, pour nommez-en quelques-uns. Dans les systèmes électriques, les transformateurs de tension abaissent les tensions du niveau du kilovolt à 110 V, et le transducteur de tension convertit les signaux physiques en courant milliampère (normalement 4 à 20 mA) qui est ensuite utilisé pour une transmission ultérieure. La sortie de courant est préférée pour les transducteurs en raison de la facilité de transmission sur de longues distances et parce qu'elle est moins sujette à la distorsion par les interférences. La sortie d'un transducteur qui mesure la puissance est illustrée à la Figure 1.5 où la plage est de 4 à 20 mA. La valeur seuil de 4 mA a été choisie pour deux raisons. La première raison est que l'entrée zéro correspond à 4 mA, pas zéro ampères, ce qui aide à identifier un fil cassé, qui se manifestera également par une sortie nulle. L'autre raison est que la courbe de sortie du transducteur est linéaire le long de la partie 4 à 20 mA, comme on le voit sur la figure, ce qui donne une sortie précise.

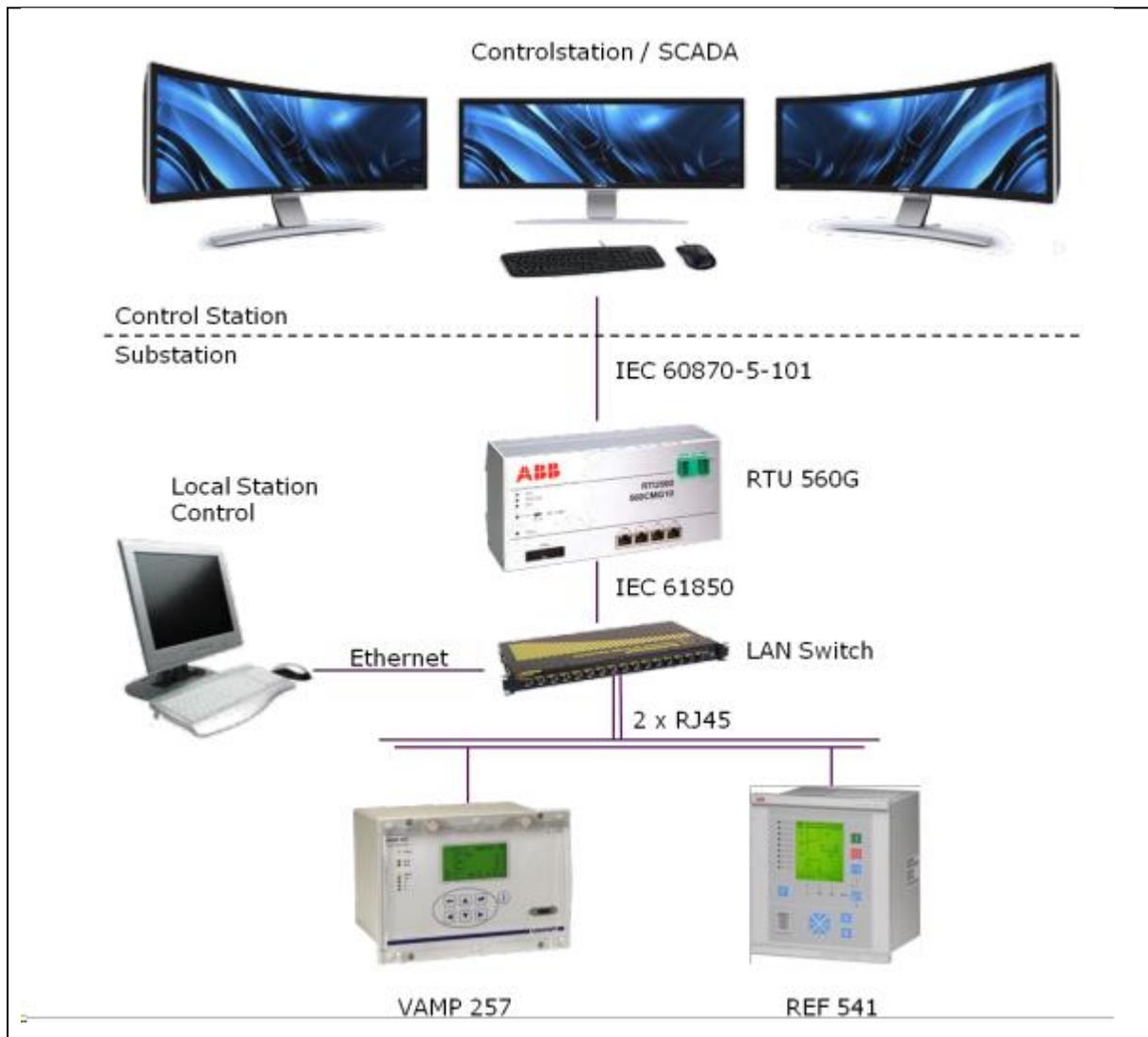
3.3.2 Signaux numériques :

Un signal de données numériques est un signal discontinu qui passe d'un état à un autre par étapes discrètes, généralement représentées en binaire, ou à deux niveaux, bas et haut. Les signaux numériques comprennent les positions des commutateurs et les positions des isolateurs et des disjoncteurs dans un système d'alimentation.

Les signaux numériques sont directement accessibles par le système d'automatisation. Cependant, pour l'isolation physique, tous les signaux numériques entrent dans le système via des relais intermédiaires. Les relais d'interposition déclenchent une action dans un circuit en réponse à un changement de conditions dans ce circuit ou dans un autre circuit. Des contacts libres de potentiel sont utilisés pour amener les données du terrain. Le couplage est électromagnétique entre les contacts du disjoncteur et la RTU, de sorte qu'aucun câblage physique du terrain n'atteint l'équipement de contrôle. Des erreurs peuvent être introduites ici en raison de la rouille des contacts ou d'une mauvaise opération.

3.4 Les Flux de données du terrain vers le centre de contrôle SCADA:

Le flux d'informations dans un système SCADA peut être suivi en analysant le flux d'un signal analogique du terrain à l'écran d'affichage d'un répartiteur, comme illustré à la Figure suivante.



A titre d'exemple, l'affichage d'une tension de barre omnibus, disons 220 kV, sur l'écran synoptique d'un opérateur est illustré.

Partant du jeu de barres de la sous-station sur le terrain, le transformateur de potentiel connecté au bus convertit le 220 kV en 110 V. Ce 110 V est converti en un signal analogique de 4 à 20 mA par un transducteur de tension. Comme expliqué, ce signal analogique doit être converti en un signal numérique pour une transmission ultérieure vers la station maître. Le signal analogique 4 à 20 mA est converti en signal numérique par le module d'entrée analogique (AI) de la RTU.

De plus, ce signal numérique obtenu est conditionné dans un paquet de données dans la RTU, selon le protocole de communication existant entre la RTU et la station maître. Les paquets

de données sont ensuite transmis à la station maître via le support de communication disponible. Dans la station maîtresse, les paquets sont reçus par le processeur frontal/frontal de communication (FEP/CFE), décodés et les données récupérées. Les données sont ensuite mises à l'échelle jusqu'à la plage de 220 kV et affichées sur la barre omnibus appropriée dans le schéma synoptique de la console de l'opérateur, complétant ainsi le cycle de surveillance.

3.5 Les fondements des RTU dans un système SCADA:

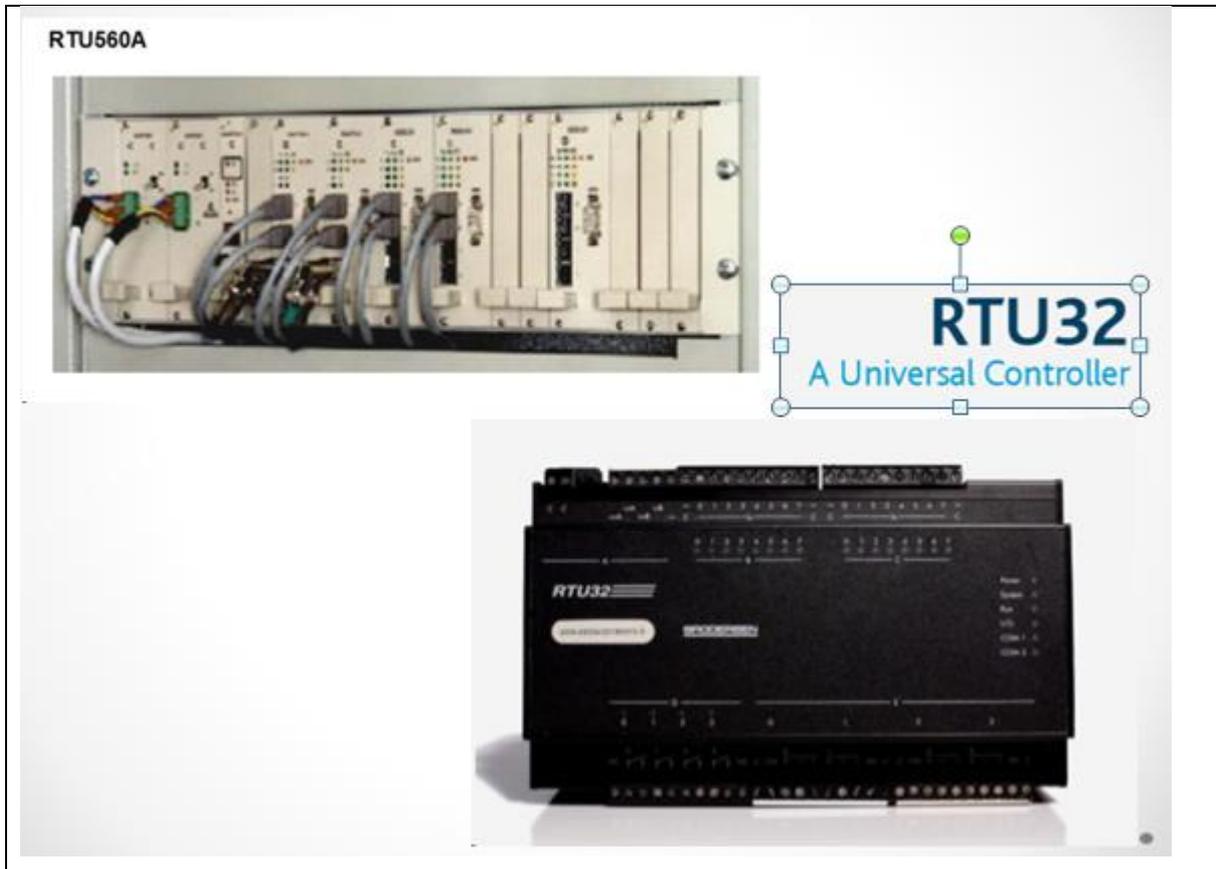
Le RTU est l'organe essentiel dans un système SCADA. Autrefois, la RTU était un esclave de la station maîtresse, mais maintenant les RTU sont équipées d'installations de calcul et d'optimisation internes. La RTU collecte les données des appareils de terrain, traite les données et envoie les données à la station maîtresse via le système de communication pour aider à la surveillance du système d'alimentation en tant qu'"yeux" et "oreilles" de la station maîtresse. En même temps, la RTU reçoit des commandes de contrôle de la station maître et transmet ces commandes aux appareils de terrain, justifiant ainsi la comparaison aux « mains » du poste maître.

Les RTU présentaient les avantages suivants :

1. Capacité de développement de système modulaire
2. Système d'interface utilisateur largement préprogrammé, facile à adapter au processus individuel
3. Logiciel piloté par menu préprogrammé (programmation finale à l'aide de quelques boutons sur le clavier)
4. Large sélection d'algorithmes de contrôle avec menu préprogrammé
5. Autoroute de données avec capacités de transmission et de communication entre des unités distinctes—large bande, redondance
6. Communication relativement facile avec la salle de contrôle pour le contrôle de supervision
7. Schéma de diagnostic étendu et dispositifs pour une maintenance et un remplacement faciles de la carte de circuit imprimé (au niveau de la carte)

8. Redondance à tous les niveaux pour améliorer la fiabilité

9. Protocoles de communication standard de l'industrie (IEEE 1815 ou DNP3, CEI 60870-5-101 et 103)



Un RTU est formé par les modules suivants :

RTU a les principaux composants suivants pour accomplir les tâches de surveillance et de contrôle des appareils de terrain :

1. Sous-système de communication : le sous-système de communication est l'interface entre le réseau de communication SCADA et la logique interne de la RTU. Ce sous-système reçoit des messages du maître, interprète les messages, initie des actions au sein de la RTU qui, à son tour, initie une action sur le terrain. La RTU envoie également un message approprié à la station maîtresse à la fin de la tâche. Il collecte également des données sur le terrain, traite et

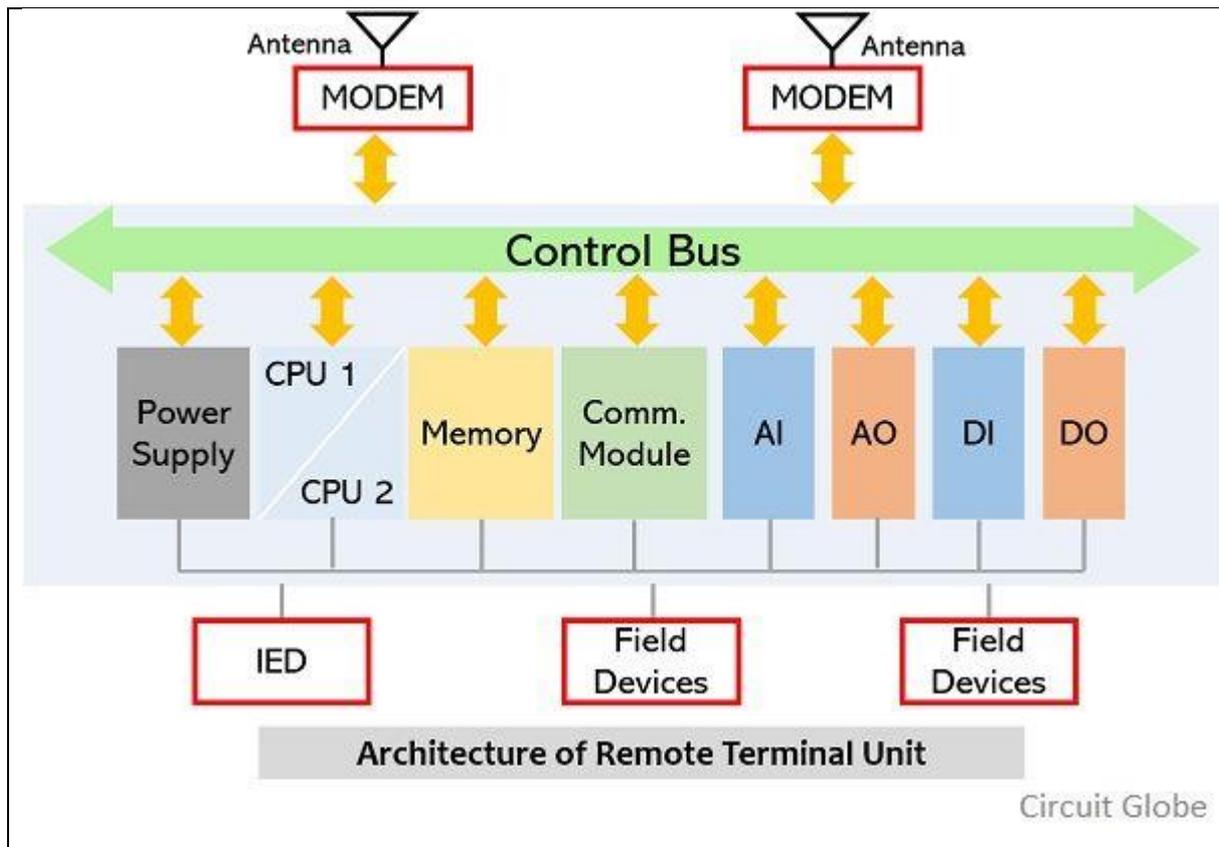
transmet les données pertinentes à la station maîtresse. La RTU peut rendre compte à un seul maître ou à plusieurs maîtres.

2. Sous-système logique : le sous-système logique se compose du processeur principal et de la base de données et gère tous les principaux traitements : chronométrage et détection des commandes. Le sous-système logique gère également les conversions analogique-numérique et l'optimisation informatique, dans la plupart des cas.

3. Sous-système de terminaison : Le sous-système de terminaison fournit l'interface entre la RTU et les équipements externes tels que les lignes de communication, la source primaire et les dispositifs de sous-station. La logique RTU doit être protégée de l'environnement hostile de la sous-station.

4. Sous-système d'alimentation électrique : l'alimentation électrique convertit l'alimentation principale, généralement de la batterie de la sous-station, en besoins d'alimentation des autres sous-systèmes RTU.

5. Sous-système de test/IHM : ce sous-système couvre une variété de composants, de tests de matériel/micrologiciel intégrés et d'indicateurs visuels, dans le RTU, et de test/maintenance intégrés ou portables panneaux ou présentoirs.



Chapitre IV

SMART GRIDES

4. Fondement du Smart Grid :

4.1 Introduction:

Le premier système de réseau électrique à courant alternatif a été installé en 1886 à Great Barrington, Massachusetts (États-Unis). À cette époque, le réseau était un système unidirectionnel centralisé de transmission d'énergie électrique, de distribution d'électricité et de contrôle axé sur la demande.

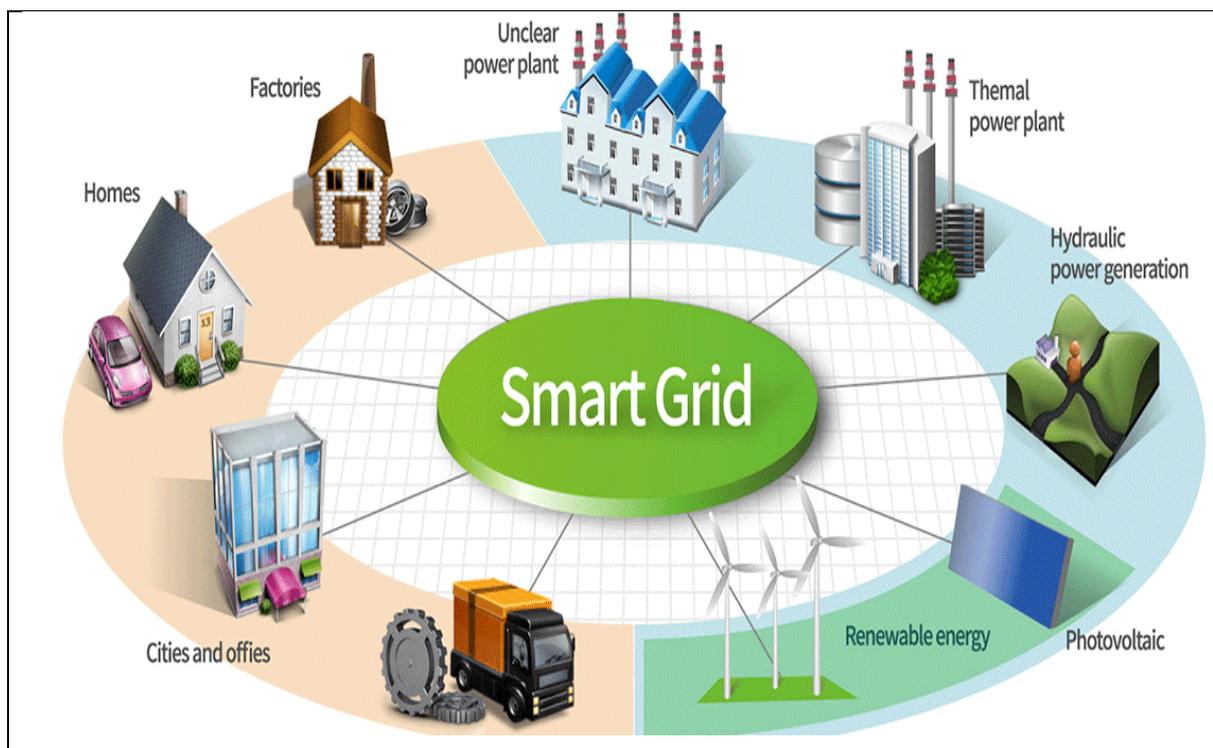
Au XXe siècle, les réseaux locaux se sont développés au fil du temps et ont finalement été interconnectés pour des raisons économiques et de fiabilité. Dans les années 1960, les réseaux électriques des pays développés étaient devenus très vastes, matures et hautement interconnectés, avec des milliers de centrales électriques de génération « centrale » fournissant de l'électricité aux principaux centres de charge via des lignes électriques à grande capacité qui étaient ensuite ramifiées et divisées pour fournir de l'électricité à petits utilisateurs industriels et domestiques sur l'ensemble de la zone d'approvisionnement. La topologie du réseau des années 1960 était le résultat de fortes économies d'échelle : les grandes centrales électriques au charbon, au gaz et au pétrole de l'échelle de 1 GW (1 000 MW) à 3 GW s'avèrent toujours rentables, en raison de fonctionnalités d'amélioration de l'efficacité qui ne peuvent être rentables que lorsque les stations deviennent très grandes.

Les centrales électriques étaient stratégiquement situées à proximité des réserves de combustibles fossiles (soit les mines ou les puits eux-mêmes, soit à proximité des lignes d'approvisionnement ferroviaires, routières ou portuaires). L'implantation des barrages hydroélectriques dans les zones de montagne a également fortement influencé la structure du réseau émergent. Les centrales nucléaires ont été implantées pour la disponibilité de l'eau de refroidissement. Enfin, les centrales thermiques à combustibles fossiles étaient initialement très polluantes et implantées le plus économiquement possible des agglomérations dès lors que les réseaux de distribution d'électricité le permettaient. À la fin des années 1960, le réseau électrique atteignait l'écrasante majorité de la population des pays développés, seules les zones régionales périphériques restant « hors réseau ».

La première définition officielle du réseau intelligent a été fournie en 2007 qui considérée comme une définition du Smart Grid:

Pour atteindre chacun des objectifs suivants, qui ensemble caractérisent un Smart Grid :

- (1) Utilisation accrue des technologies numériques d'information et de contrôle pour améliorer la fiabilité, la sécurité et l'efficacité du réseau électrique.
- (2) Optimisation dynamique des opérations et des ressources du réseau, avec une cybersécurité complète.
- (3) Déploiement et intégration des ressources et de la production distribuées, y compris les ressources renouvelables.
- (4) Développement et intégration de la réponse à la demande, des ressources côté demande et des ressources d'efficacité énergétique
- (5) Déploiement de technologies « intelligentes » (technologies en temps réel, automatisées et interactives qui optimisent le fonctionnement physique des appareils et des appareils grand public) pour le comptage, les communications concernant le fonctionnement et l'état du réseau et l'automatisation de la distribution.
- (6) Intégration d'appareils électroménagers « intelligents » et d'appareils grand public.
- (7) Déploiement et intégration de technologies avancées de stockage d'électricité et d'écèlement des pointes, y compris les véhicules électriques et hybrides rechargeables et la climatisation à stockage thermique.
- (8) Fourniture aux consommateurs d'informations opportunes et d'options de contrôle.
- (9) Élaboration de normes de communication et d'interopérabilité des appareils et équipements connectés au réseau électrique, y compris l'infrastructure desservant le réseau.
- (10) Identification et réduction des obstacles déraisonnables ou inutiles à l'adoption des technologies, des pratiques et des services de réseau intelligent."



4.2 La télémétrie dans un Smart Grid:

Les systèmes de compteurs intelligents sont variés en termes de technologie et de conception, mais fonctionnent selon un processus global simple. Les compteurs intelligents collectent les données localement et les transmettent via un réseau local (LAN) à un collecteur de données. Cette transmission peut se produire aussi souvent que 15 minutes ou aussi rarement que quotidiennement selon l'utilisation des données. Le collecteur récupère les données et peut procéder ou non à un quelconque traitement des données. Les données sont transmises via un réseau étendu (WAN) au point de collecte central du service public pour le traitement et l'utilisation par les applications commerciales. Étant donné que le chemin de communication est bidirectionnel, les signaux ou les commandes peuvent être envoyés directement aux compteurs, aux locaux du client ou au dispositif de distribution. La figure suivante un exemple de compteur intelligent Linky



4.3 Les différents types de télémétrie dans un Smart Grid:

Il existe deux catégories de base de technologies de système Smart Meter telles que définies par leur réseau local. Ce sont les radiofréquences (RF) et les courants porteurs en ligne (PLC). Chacune de ces technologies a ses propres avantages et inconvénients dans l'application. Le service public sélectionne la meilleure technologie pour répondre à ses besoins démographiques et commerciaux. Les facteurs qui influent sur le choix de la technologie comprennent l'évaluation de l'infrastructure existante; l'impact sur l'équipement existant, la fonctionnalité, les exigences techniques ainsi que l'impact économique sur les clients du service public. La sélection de la technologie nécessite une évaluation et une analyse approfondies des besoins existants et des exigences futures dans une analyse de rentabilisation unique et complète.

4.3.1 Radiofréquence - RF :

Les mesures du compteur intelligent et d'autres données sont transmises par radio sans fil du compteur à un point de collecte. Les données sont ensuite transmises par divers procédés aux systèmes de données des services publics pour être traitées à un emplacement

central. La facturation des services publics, la gestion des pannes et d'autres systèmes utilisent les données à des fins opérationnelles. Les technologies RF sont généralement de deux types différents.

A/ Technologie de maillage

Les compteurs intelligents communiquent entre eux (hop) pour former un nuage LAN vers un collecteur. Le collecteur transmet les données à l'aide de diverses méthodes WAN à l'emplacement central du service public.

- Les avantages des technologies Mesh RF incluent une latence acceptable, une large bande passante et fonctionnent généralement à des fréquences de 9157 MHz.
- Les inconvénients des technologies maillées incluent les problèmes de terrain et de distance pour les zones rurales, les communications propriétaires et les points de collecte multiples.

B/ Technologie point à point

Les compteurs intelligents communiquent directement avec un collecteur, généralement une tour. Le collecteur de la tour transmet les données à l'aide de diverses méthodes à l'emplacement central du service public pour traitement.

- Les avantages des technologies RF point à point incluent une communication directe avec peu ou pas de latence avec chaque point d'extrémité, une large bande passante pour un meilleur débit, certains sont un spectre sous licence et peuvent couvrir de plus longues distances.
- Les inconvénients des réseaux RF point à point sont les licences (pas pour 900 MHz), le terrain peut s'avérer difficile dans les zones rurales (ligne de vue), les communications propriétaires utilisées pour certaines technologies et moins d'interface avec les appareils DA.

4.3.2 Courant porteur en ligne (CPL):

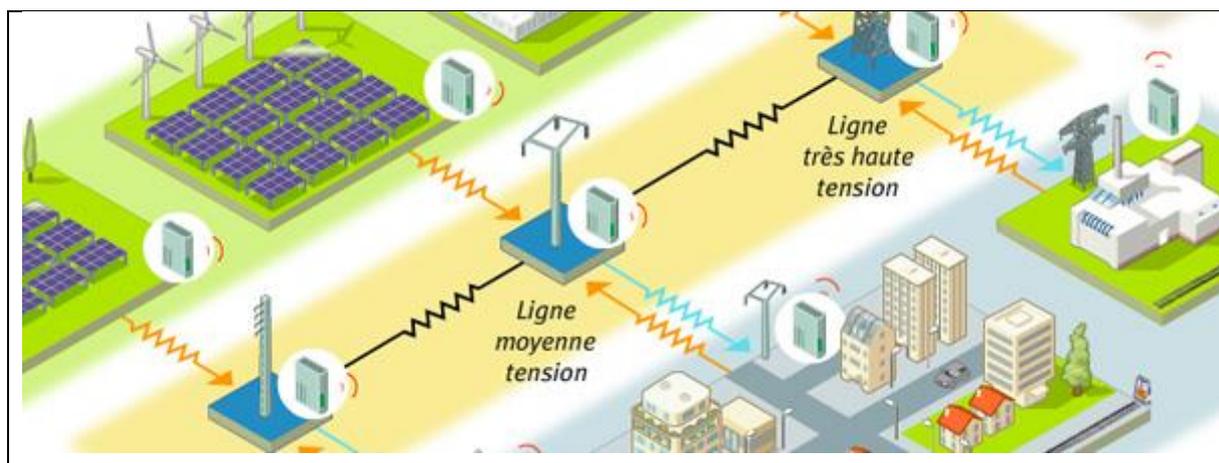
Les mesures du compteur intelligent et d'autres données peuvent être transmises à travers les lignes électriques du service public du compteur à un point de collecte, généralement dans la sous-station de distribution alimentant le compteur. Certaines solutions ont le point de collecte situé du côté secondaire d'un transformateur de distribution. Les données sont ensuite transmises aux systèmes de données des services publics pour être traitées à un emplacement central. La facturation des services publics, la gestion des pannes et d'autres systèmes utilisent les données à des fins opérationnelles.

- Les avantages de la technologie CPL incluent l'utilisation de l'infrastructure de services publics existante de poteaux et de fils, une meilleure rentabilité pour les lignes rurales, plus efficace sur les terrains difficiles et la capacité de travailler sur de longues distances.

- Les inconvénients du PLC incluent un temps de transmission des données plus long (plus de latence), moins de bande passante et de débit, une interface limitée avec les dispositifs d'automatisation de la distribution (DA) et un coût plus élevé dans les zones urbaines et suburbaines.

4.4 AVANTAGES ET FACTEURS AVANCÉS DE L'INFRASTRUCTURE DE COMPTAGE DANS UN SMART GRID:

Le réseau électrique est devenu une nécessité dans la société moderne. Sans un réseau électrique stable et fiable, la vie quotidienne de dizaines de millions de personnes serait considérablement dégradée. Avec le développement des systèmes d'information et des technologies de communication, de nombreux pays ont modernisé le système électrique vieillissant en un réseau intelligent, qui se caractérise par une transmission bidirectionnelle, une fiabilité élevée, une réponse à la demande en temps réel, l'auto-guérison et la sécurité. Au sein du réseau intelligent, Advanced Metering Infrastructure (AMI) joue un rôle essentiel et est étroitement associé à la vie quotidienne des gens.



AMI englobe tout un réseau d'informations sur l'électricité, y compris les compteurs intelligents sur les maisons des clients, les communications vers et depuis un service public et, éventuellement, la communication vers les appareils au domicile d'un client.

L'infrastructure de mesure avancée comprend trois éléments clés : les compteurs intelligents, l'infrastructure de communication des compteurs et la gestion des données. La combinaison des trois est vitale pour le développement d'un réseau intelligent.

- Smart Meter Fournit une communication bidirectionnelle entre le client et le service public, permettant des fonctions telles que la détection des pannes, la tarification en temps réel et la surveillance de la qualité de l'alimentation.
- Infrastructure de communication du compteur Décrit les diverses méthodes de communication entre le compteur et le service public. Il s'agit notamment de la communication par courant porteur en ligne (CPL), cellulaire (large bande ou GPRS) et radiofréquence (RF).
- Gestion des données Couvre globalement la gestion de toutes les données créées par le compteur - cela inclut le transfert, le stockage et la protection de la confidentialité.

AVANTAGES

Les avantages de l'AMI sont multiples et peuvent être généralement classés comme :

- Avantages opérationnels : AMI profite à l'ensemble du réseau en améliorant la précision des lectures de compteurs, la détection de vol d'énergie et la réponse aux pannes de courant, tout en éliminant le besoin de lecture de compteurs sur site.
- Avantages financiers : AMI apporte des gains financiers aux entreprises de services publics, d'eau et de gaz en réduisant les coûts d'équipement et de maintenance, en permettant une restauration plus rapide du service électrique pendant les pannes et en rationalisant le processus de facturation.
- Avantages pour le client : AMI profite aux clients électriques en détectant les pannes de compteurs à un stade précoce, en permettant une restauration plus rapide du service et en améliorant la précision et la flexibilité de la facturation. De plus, AMI permet des options tarifaires basées sur le temps qui peuvent aider les clients à économiser de l'argent et à gérer leur consommation d'énergie.
- Avantages en matière de sécurité - La technologie AMI permet une meilleure surveillance des ressources système, ce qui atténue les menaces potentielles sur le réseau par les réseaux de cyber-terroristes.

CONDUCTEURS

Malgré ses nombreux avantages, le déploiement de l'AMI présente trois défis majeurs, à savoir les coûts d'investissement initiaux élevés, l'intégration avec d'autres systèmes de réseau et la normalisation.

1. Coûts d'investissement élevés : un déploiement à grande échelle de l'AMI nécessite des dépenses pour tous les composants matériels et logiciels, y compris les compteurs, l'infrastructure réseau et les logiciels de gestion du réseau, ainsi que les coûts associés à l'installation et à la maintenance des compteurs et des systèmes de technologie de l'information.
2. Intégration : AMI est un système complexe de technologies qui doit être intégré aux systèmes de technologie de l'information des services publics, y compris les systèmes d'information client (CIS), les systèmes d'information géographique (GIS), les systèmes de

gestion des pannes (OMS), la gestion du travail (WMS), Mobile Workforce Management (MWM), SCADA/DMS, Distribution Automation System (DAS), etc.

3. Normalisation : Des normes d'interopérabilité doivent être définies, qui fixent des exigences uniformes pour la technologie AMI, le déploiement et les opérations générales et sont les clés d'une connexion et d'une maintenance réussies d'un système de réseau basé sur AMI.

Bibliographie :

- [1]. Renewable Energy sources And Emerging Technologies, DP. Kothari, PHI.
- [2]. Hand Book of Renewable Energy Technology, Ahmed F Zooba, R C Bansal
- [3]. Danish Wind Industry Association,
www.windpower.org/en/knowledge.html, great site, check out
Guided Tour and Wind with Miller (accessed on 2/13/2012).
- [4]. National Wind Technology Center, NREL,
www.nrel.gov/wind/resource_assessment.html (accessed
on 2/13/2012).
- [5]. V. Nelson, 2008, Ch. 4 Wind energy. In *Texas Renewable Energy Resource
Assessment*, [www.seco.cpa.
state.tx.us/publications/renewenergy](http://www.seco.cpa.state.tx.us/publications/renewenergy) (accessed on 2/13/2012).
- [6]. Energy Technology – S. Rao, Parulkar
- [7]. Non-conventional Energy Systems – Mittal, Wheelers Publication
- [8]. US Northwest States, wind maps; www.windmaps.org/default.asp
(accessed on 2/13/2012).
- [9]. 3Tier, FirstLook Prospecting, www.3tiergroup.com/wind/overview
(accessed on 2/13/2012).
- [10]. Renewable energy technologies - R. Ramesh, Narosa Publication.
- .
- [11]. Non-Conventional Sources of Energy- G.D.Rai, Khanna Publishers
- [12]. Non-Conventional Sources of Energy- B. H. Khan, TMH Publication