Intégration des énergies renouvelables aux réseaux électriques Introduction au Smartgrids

Dr. Ing. Dhaker ABBES

Enseignant-Chercheur
Co-responsable du domaine ESEA :
Energie, Systèmes Electriques et Automatisés
Membre de l'Equipe RESEAUX (L2EP)
Ecole des Hautes Etudes d'Ingénieur
(HEI-Lille, France)

Plan général

- Introduction
- Intégration de l'énergie solaire photovoltaïque
- Intégration de l'énergie éolienne
- Notion de Smart grids
- Références et Publications

Introduction

- Les réseaux électriques sont de plus en plus sollicités, sous l'effet conjugué de l'ouverture à la concurrence, de la part de plus en plus importante des énergies renouvelables et de notamment l'augmentation de la consommation totale d'énergie.
- Toutefois, ces sources renouvelables ont des caractéristiques qui posent un problème majeur pour l'équilibre du réseau : il s'agit de sources d'énergie intermittentes et imprévisibles, puisque dépendantes de contraintes météorologiques qui sont par nature versatiles.

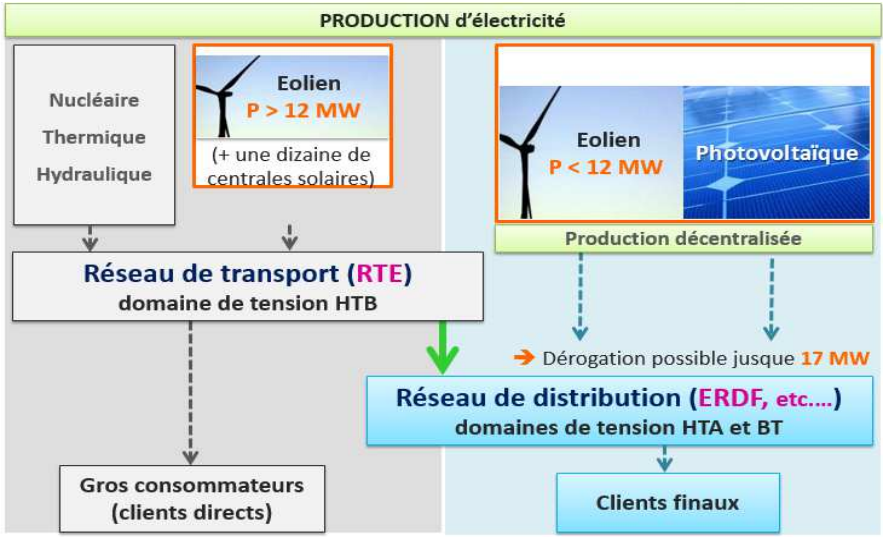
Introduction

- Difficultés avec l'architecture traditionnelle des réseaux électriques : alors qu'il s'agissait d'ajuster une production centralisée, désormais il faut faire face à l'intérêt croissant des productions. Ceci est d'autant plus complexe que l'offre proposée par les énergies vertes ne s'accorde pas avec la demande.
- Les installations de stockage ne sont pas courantes, ce qui implique une production qui doit être égale à la consommation. Ce sont les gestionnaires de réseaux qui s'assurent de l'équilibre du réseau (RTE et RDF).

Nous avons donc besoin de mieux gérer notre consommation électrique et de mieux y intégrer les énergies renouvelables, les smart grids apparaissent comme le meilleur compromis.

Notion de Smart grids

Architecture du réseau Français



Plan général

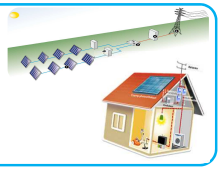
- Introduction
- Intégration de l'énergie solaire photovoltaïque
- Intégration de l'énergie éolienne
- Notion de Smartgrids
- Références et Publications

Intégration de l'énergie solaire photovoltaïque

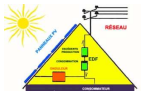
Raccordée au réseau

Puissance injectée sur le réseau :

Totalité de la production



Uniquement l'excédent de production
⇔ non consommée par les appareils

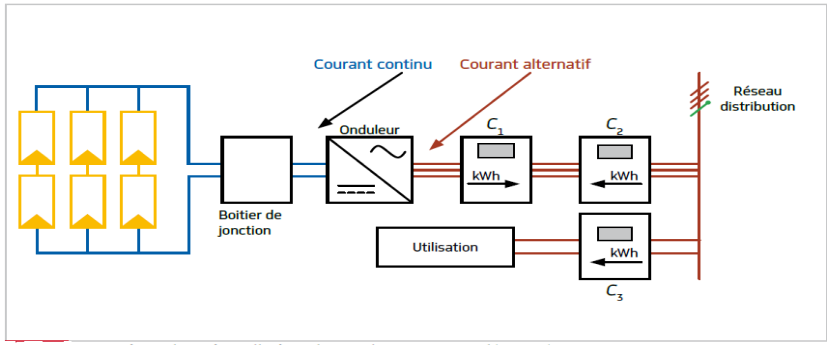


Intégration de l'énergie solaire photovoltaïque

Le photovoltaïque raccordé au réseau

Aujourd'hui cette solution est plus rentable qu'une utilisation directe de l'électricité. Ceci est valable dans la mesure où le prix de vente du kWh est supérieur au prix d'achat.

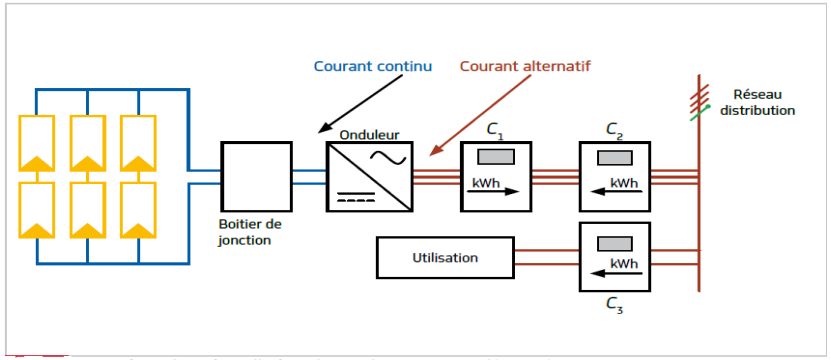
Pour effectuer un raccordement au réseau de distribution d'électricité, il est nécessaire d'adapter la tension continue à la sortie des panneaux photovoltaïques à la tension alternative du réseau de distribution. Il faut donc utiliser un onduleur.



Synoptique d'une installation photovoltaïque raccordée au réseau

Intégration de l'énergie solaire photovoltaïque

Le photovoltaïque raccordé au réseau



Synoptique d'une installation photovoltaïque raccordée au réseau

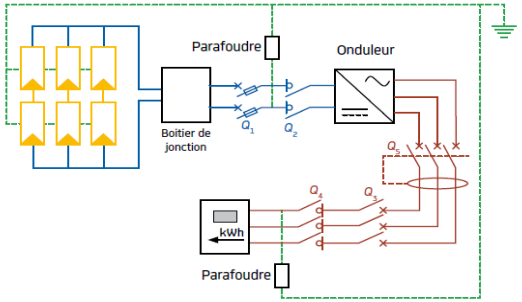
Sur cette figure, on peut voir 3 compteurs différents sur l'installation :

- *C*1 est le compteur de vente de l'électricité d'origine photovoltaïque,
- *C*2 est un compteur de non-consommation qui sert au fournisseur pour vérifier que le particulier ne se sert pas de ce branchement pour consommer de l'électricité sur le réseau,
- *C*3 est un compteur de consommation habituel.

Intégration de l'énergie solaire photovoltaïque

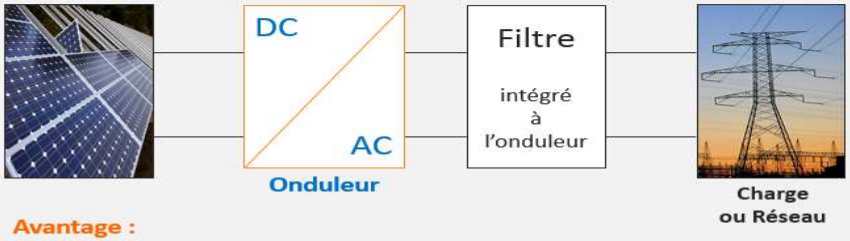
Le photovoltaïque raccordé au réseau

Afin de protéger l'installation des courts-circuits, des éléments de protection électriques doivent être mis en place du côté du courant alternatif comme du côté du courant continu. Du côté continu, il faut protéger l'installation contre les courts-circuits et les surtensions atmosphériques. Il faut également prévoir la mise en place d'un interrupteur général permettant la coupure de l'ensemble des panneaux solaires en cas d'urgence. Du côté alternatif de l'installation, il faut protéger l'installation contre les surintensités, les surtensions atmosphériques. Il faut prévoir la mise en place d'un interrupteur sectionneur afin de déconnecter l'installation ainsi que la mise en place de la protection des personnes.



Intégration de l'énergie solaire photovoltaïque

- **Chaîne de conversion élémentaire**



Avantage :

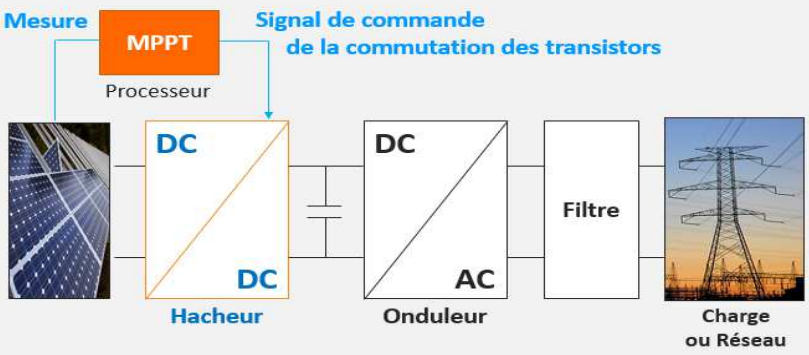
Nombre minimum de composants ⟹ diminution des pertes

Inconvénients :

- Nombre important de panneaux PV à mettre en série
- Recherche du point de fonctionnement optimal plus difficile (Le convertisseur n'est pas dédié à cette fonction.)

Intégration de l'énergie solaire photovoltaïque

- **Recherche du point de puissance maximale**



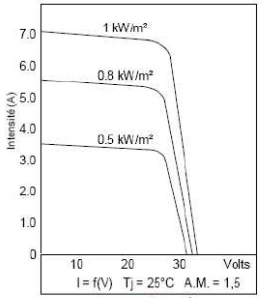
Point de puissance maximale ⟹ en agissant sur le **rapport cyclique**

Intégration de l'énergie solaire photovoltaïque

- **Recherche du point de puissance maximale**

Rappel des caractéristiques électriques d'un panneau photovoltaïque

Caractéristiques I=f(U)

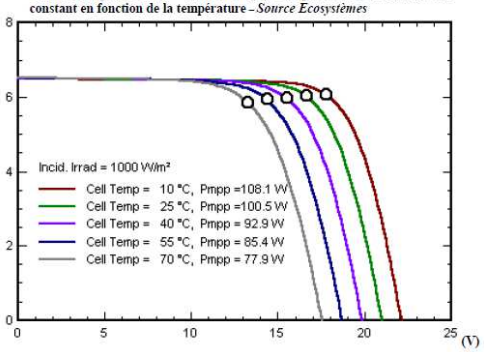


Source : Tenesol

Réseau de caractéristique I= f(U) suivant un éclairement variable (pour un température de jonction de 25°C et une répartition spectrale du rayonnement dit AM 1,5.

Effet de la température :

Caractéristiques courant – tension I= f(V) d'un panneau PV à éclairement constant en fonction de la température – *Source Ecosystèmes*



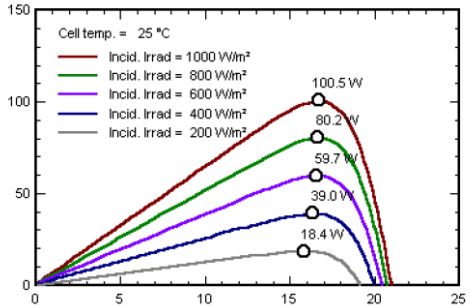
Intégration de l'énergie solaire photovoltaïque

- **Recherche du point de puissance maximale**

Rappel des caractéristiques électriques d'un panneau photovoltaïque

Caractéristiques P=f(U)

Courbes de puissance en fonction de la tension aux bornes d'un panneau PV *Source Ecosystèmes*



La puissance crête d'une cellule PV, notée W_c (Watt crête) ou W_p (Watt peak), représente la puissance électrique maximum délivrée dans les conditions suivantes dites conditions standard :
- éclairement solaire de 1 kW / m^2 ;
- température de la cellule PV égale à + 25 °C.
- Masse d'air **AM 1,5**

Utilisation optimale d'un panneau, suivre le point de fonctionnement optimal (MPPT):
De la caractéristique courant-tension, on peut déduire la caractéristique de la puissance électrique générée par le panneau en fonction de la tension à ses bornes. Il existe une valeur de photo-courant correspondant à une tension aux bornes du panneau pour laquelle cette puissance électrique générée est optimum. C'est le point de puissance maximale (MPP).

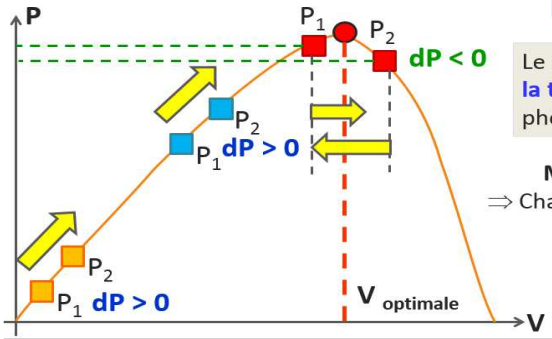
Intégration de l'énergie solaire photovoltaïque

- **Recherche du point de puissance maximale**

Suivre le point de puissance maximale

à condition que la charge accepte cette puissance :
- avec une batterie qui n'a pas atteint sa pleine charge
- en situation connectée au réseau

Intérêt : améliorer le rendement du système



Méthode par tâtonnement

↓

Le système **adapte en permanence la tension** aux bornes du générateur photovoltaïque.

Modification de l'éclairement

⇒ Changement de la caractéristique **P-V**

Tension initiale :

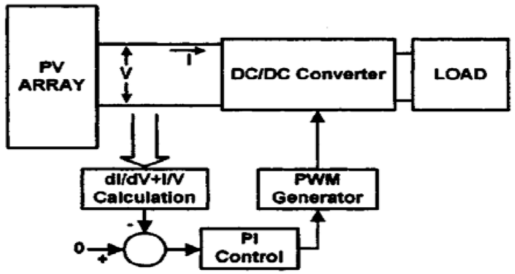
$$0{,}7 \times V_0$$

Intégration de l'énergie solaire photovoltaïque

- **Recherche du point de puissance maximale**

Principales méthodes utilisées

- Commande P&O Perturb and Observ.
- Commande "hill climbing".
- Méthode de la conductance incrémentale.
- Commande à tension ou courant de référence.



MPPT par conductance incrémentale

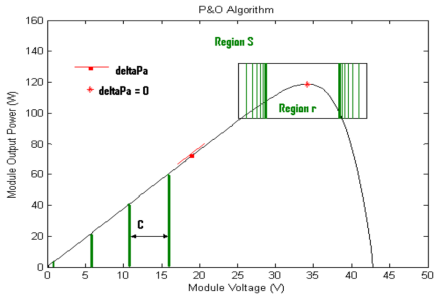
http://vincent.boitier.free.fr/INSA/biblio_MPPT/Boitier_Maussion_MPPT_Vfinale.pdf

Intégration de l'énergie solaire photovoltaïque

- **Recherche du point de puissance maximale**

Méthode utilisée au LERPA EIGSI La Rochelle

L'algorithme retenu pour la mise en œuvre est un P&O amélioré avec un pas adaptatif. Le principe fondamental de celui-ci est la variation du pas d'incrémentation de manière à converger plus rapidement vers le point optimal (MPP) tout en réduisant les oscillations autour de ce point. En effet, afin de converger rapidement vers le MPP, nous réduisons, le pas d'incrémentation C d'une région à une autre : C = 0.01 pour la région « S » et 0.001 pour la région « r ».

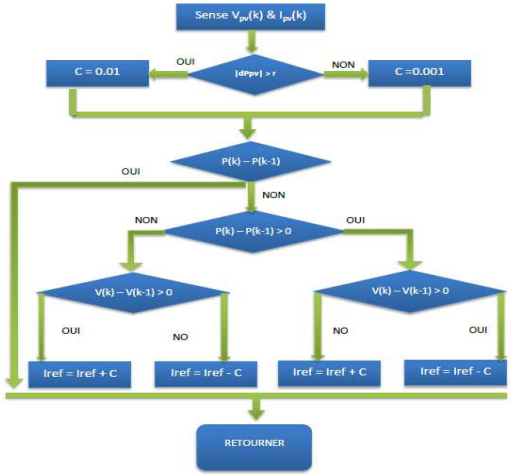


Principe de recherche avec pas variable dans un algorithme P&O

Intégration de l'énergie solaire photovoltaïque

- **Recherche du point de puissance maximale**

Méthode utilisée au LERPA EIGSI La Rochelle



Algorithme MPPT P&O amélioré

Intégration de l'énergie solaire photovoltaïque

- **Transformateur Basse Fréquence**

- **Elever la tension** du bus alternatif au niveau de celle du réseau
- **Limiter le nombre de panneaux** PV à mettre en série
- Assurer l'**isolation galvanique** Réseau/Onduleur

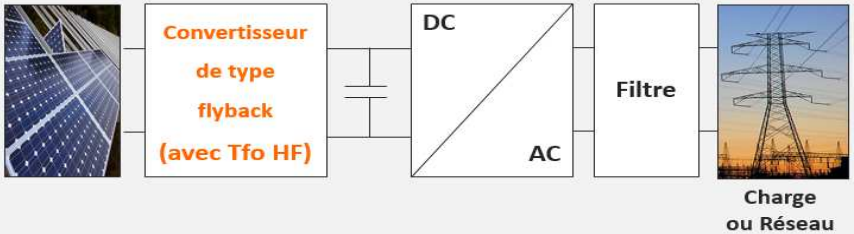
Intégration de l'énergie solaire photovoltaïque

- **Transformateur Basse Fréquence**

- **Elever la tension** du bus alternatif au niveau de celle du réseau
- **Limiter le nombre de panneaux** PV à mettre en série
- Assurer l'**isolation galvanique** Réseau/Onduleur

Intégration de l'énergie solaire photovoltaïque

- **Transformateur Haute Fréquence**



Intérêt d'alimenter le transformateur en haute fréquence :

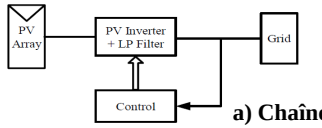
Réduire le **volume** de son circuit magnétique

⇒ **Réduire l'encombrement du transformateur**

⇒ Systèmes embarqués…

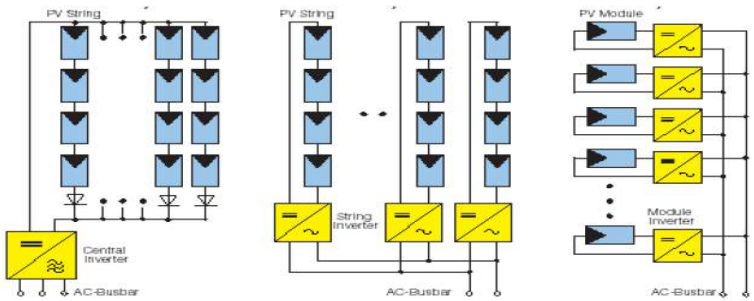
Intégration de l'énergie solaire photovoltaïque

Configurations



a) Chaîne de conversion élémentaire

a)

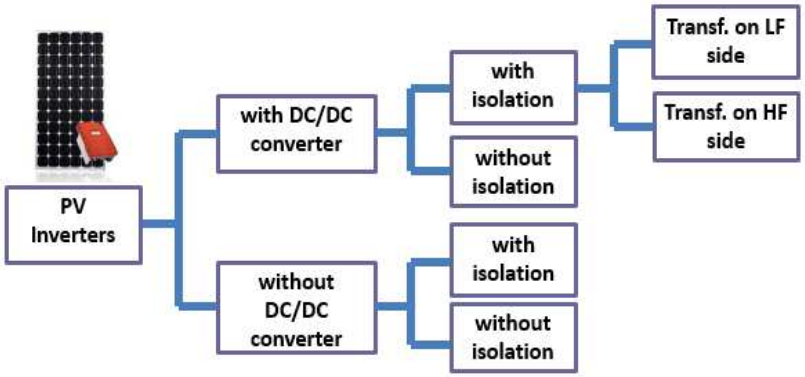


b) c) d)

Schema general pour une installation photovoltaïque mononphasée connectée au réseau.
b) Onduleur Central ; c) Onduleur par chaîne en série ; d) Onduleur unitaire intégré

Intégration de l'énergie solaire photovoltaïque

Configurations



Synthèse des principals configurations d'installations photovoltaïques

Intégration de l'énergie solaire photovoltaïque

Quelques normes et législations

Raccordement des installations PV

Parc au 31 décembre 2013

Tranches de puissance :	Nombre d'installations
≤ 3 kW	263 500
> 3 et ≤ 9 kW	26 362
> 9 et ≤ 36 kW	14 789
> 36 et ≤ 100 kW	6 919
> 100 et ≤ 250 kW	4 988
> 250 kW	939

Les installations photovoltaïques sont raccordées au réseau de distribution :

Domaine de tension		Niveau de tension	Puissance limite	Installations
BT	monophasé	230 V	S ≤ 18 kVA	
	triphasé	400 V	S ≤ 250 kVA	
HTA		15 kV ou 20 kV	P ≤ 12 MW	

Tensions nominales	Arrêté du 24 décembre 2007	Article 1
Puissances limites	Arrêté du 23 avril 2008	Article 4

Quelques normes et législations

Comportement de l'installation en régime normal

Modification du plan de tension

En BT :

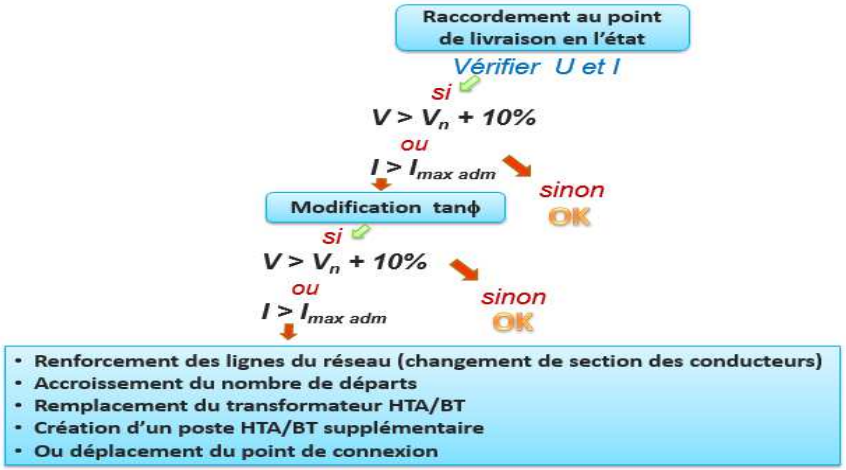
« Un **dysfonctionnement en un point particulier de connexion** [...] est réputé constaté [...] lorsqu'au moins une mesure effectuée [...] met en évidence une tension efficace, moyennée sur 10 minutes, **inférieure à 90 % de la valeur de la tension nominale** [...] ou **supérieure à 110 % de cette tension nominale**. »

En HTA : Variation admissible de **+/- 5%** indiquée dans la documentation technique de référence d'ERDF

Arrêté du 24 décembre 2007 sur la qualité de l'électricité	Article 4	Legifrance.gouv.fr

Quelques normes et législations

Solutions de raccordement en BT



Quelques normes et législations

Comportement de l'installation en régime normal

Injection d'harmoniques

Limites admissibles des taux harmoniques en HTA (par rapport au courant nominal) générés par un producteur dont la production est supérieure ou égale à 100 kW			
Rangs impairs	**Taux limite**	**Rangs pairs**	**Taux limite**
3	4 %	2	2 %
5 et 7	5 %	4	1 %
9	2 %	> 4	0,5 %
11 et 13	3 %		
> 13	2 %		

Arrêté du 23 avril 2008 relatif au réseau de distribution	Article 15	Legifrance.gouv.fr

Quelques normes et législations

Obligations réglementaires

- **Article 15 de l'arrêté du 23 avril 2008 :**

*« La **contribution au taux de déséquilibre** en tension au point de livraison de toute installation de production dont la **charge monophasée est ≥ à 500 kVA** doit être **inférieure ou égale à 1 %**. »*

❖ Aucun spécification pour les installations photovoltaïques de puissances inférieures raccordées au réseau BT

❖ Formulation ne permettant pas de répondre de manière opérationnelle à la question de la méthode de répartition des onduleurs monophasés sur les phases du réseau

- **Recommandation de l'ADEME** sur la répartition des onduleurs monophasés dans une installation raccordée par un branchement triphasé :
  - **jusqu'à 36 kVA :** limite de déséquilibre à **1/3 de la puissance souscrite**
  - **au delà de 36 kVA :** limite de déséquilibre à **1/6 de la puissance souscrite** avec un maximum de 12 kVA

⇒ Le gestionnaire de réseau doit prévoir un **équilibrage entre les phases**, en tenant compte des récepteurs et des générateurs monophasés, avec un **courant de neutre minimal**.

Intégration de l'énergie solaire photovoltaïque

Quelques normes et législations

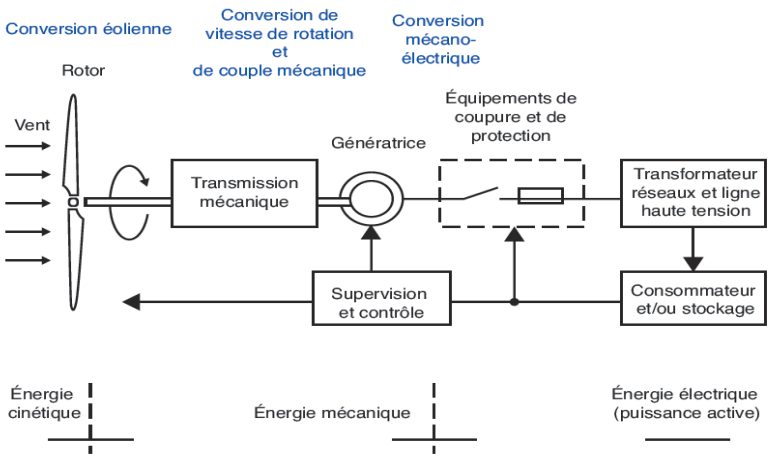
- Limite de variation de la tension, **en BT limitée à +/- 10 % en HTA : variation admissible +/- 5%.**
- Limite de variation de la fréquence : +/- 5%.
- Limite d'injection d'harmonique.
- Limite de déséquilibre.

Plan général

- Introduction
- Intégration de l'énergie solaire photovoltaïque
- **Intégration de l'énergie éolienne**
- Notion de Smart grids
- Références et Publications

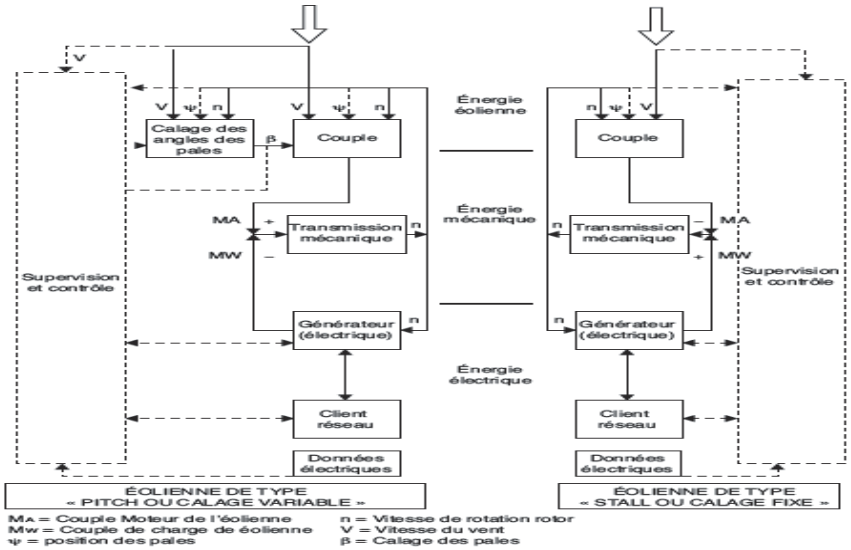
Intégration de l'énergie éolienne

– Schéma du fonctionnement d'une turbine.



Intégration de l'énergie éolienne

– Structure fonctionnelle d'une éolienne.



Puissance des éoliennes - Synthèse

Puissance crête

Machine asynchrone à double alimentation

Machine synchrone à aimant permanent

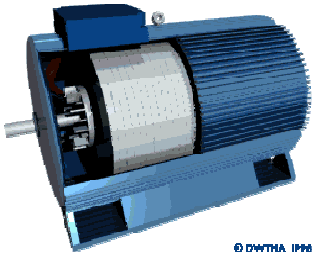
Machine synchrone à rotor bobiné

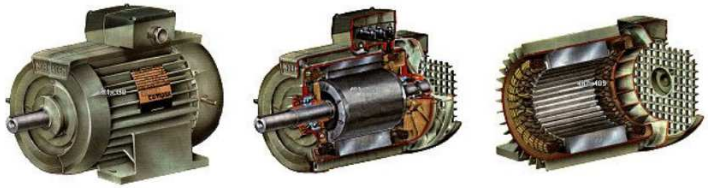
Eolienne à vitesse variable

Machine asynchrone à cage

Eolienne à vitesse fixe

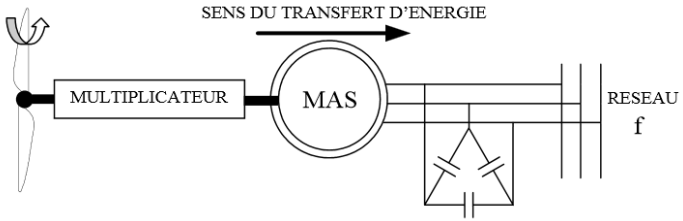
Les éoliennes à vitesse fixe





- La fréquence du réseau impose la vitesse de rotation de la machine
- Peu utilisée sur site isolé
- Vitesse nominale élevée
- Fonctionnement dans une plage restreinte de vitesses de vent, ses applications sont donc limitées.
- Maintien de la vitesse grâce au pitch control

La MAS à cage d'écureuil– Généralités



- Absence de balais-collecteurs ou de contacts glissants sur des bagues
- Ajout de capacités pour compenser l'énergie réactive nécessaire à la magnétisation du rotor de la machine

La machine asynchrone: avantages et inconvénients

- **Avantages**

✓ **système simple et bien connu**

✓ **Economique**

- **Inconvénients**

❖ **Pertes d'énergie à cause du multiplicateur**

❖ **Vibrations importantes**

❖ **Bruit important**

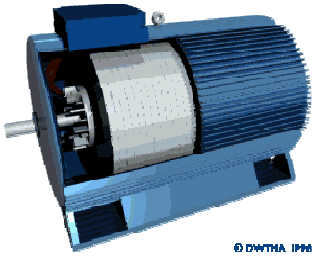
❖ **Usure plus rapide**

❖ **Entretien de l'huile du multiplicateur (risque de fuites)**

❖ **Risque d'incendie plus élevé**

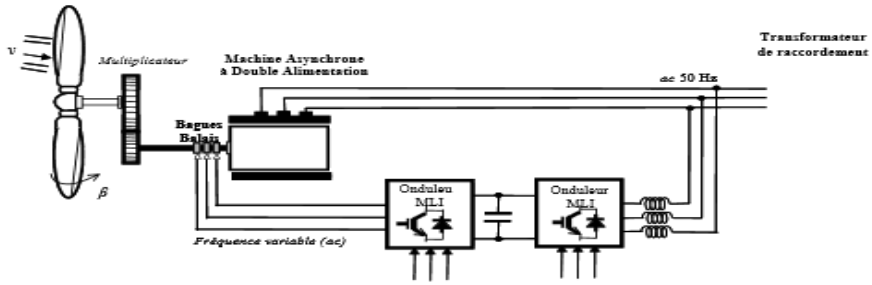
❖ **L'énergie électrique produite est de moins bonne qualité**

Les éoliennes à vitesse variable



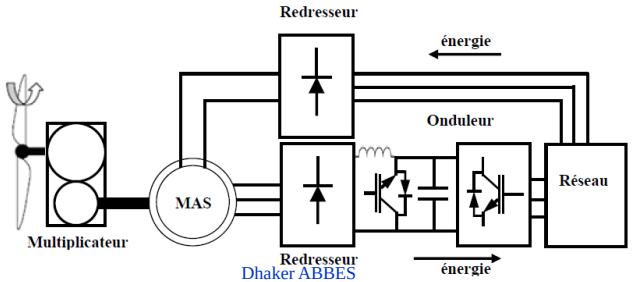
La machine asynchrone à double alimentation

- La MADA est un générateur à induction à rotor bobiné.
- Enroulements du stator connectés au réseau de distribution
- Enroulements du rotor reliés à des convertisseurs de puissance bidirectionnels en courant: la machine produit ou absorbe la puissance traversant ces convertisseurs.
- Les MAS fonctionnent autour de leur vitesse de synchronisme car la fréquence est imposée par le réseau



La machine synchrone à aimants permanents

- L'interface d'électronique de puissance entre le stator et le réseau permet un fonctionnement à vitesse variable
- Le champ tournant rotorique est crée par un bobinage alimenté en courant continu par l'intermédiaire d'un redresseur connecté au réseau
- Le Multiplicateur n'est pas utile si la machine possède un grand nombre de paires de pôles
- Ces machines sont de plus en plus utilisées



La machine synchrone à aimants permanents

- **Avantages**

- ✓ Gain en poids (absence de multiplicateur)
- ✓ Moins de pièces en rotations
  - moins de bruit
  - charge réduite
  - durée de vie la machine améliorée
  - moins de maintenance
- ✓ Coûts de maintenance plus faibles
- ✓ Bon rendement

La machine synchrone: MSAP

- **Inconvénients**

❖ Nécessite une conversion électrique pour garder une fréquence constante (alternatif → continu→ alternatif)

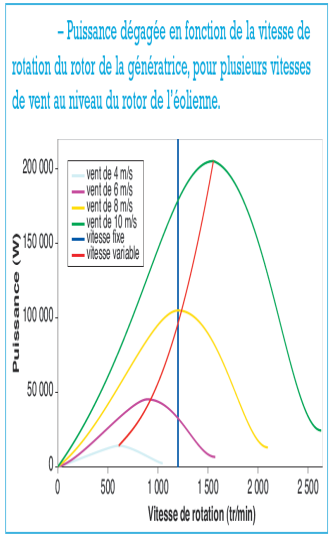
❖ Nécessite des aimants permanents gourmands en terre rare (lanthanides): ceux-ci sont très coûteux, bien que leur utilisation fréquente tende à faire baisser les prix

❖ Risque de démagnétisation des aimants suites aux variations importantes de couples électromagnétiques

Avantages des éoliennes à vitesse variable

- ✓ Augmentation de la plage de fonctionnement (faible vitesses de vent)
- ✓ Système d'orientation des pales simplifié
- ✓ Bruit réduit lors du fonctionnement à faible puissance
- ✓ Meilleure intégration dans le réseau électrique

Optimisation de la puissance , Recherche du point de puissance maximale, MPPT



La courbe de puissance en forme de cloche, typique des éoliennes, nécessite une adaptation de la charge mécanique afin d'assurer un bon prélèvement énergétique « au gré du vent » : on parle ainsi de maximisation de la puissance, voire de MPPT (Maximum Power Point Tracking).

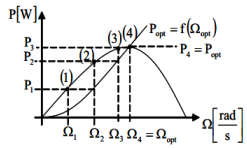
Les méthodes MPPT :

- En l'absence de toute connaissance des caractéristiques de voilure → Méthodes extrémales, exemple par la logique floue.
- MPPT avec la connaissance de la courbe caractéristique de la voilure :

- Commande en vitesse :

$$\Omega_{opt} = \frac{\lambda_{opt} \cdot V_v}{R}$$

$$P[k] \longrightarrow \boxed{\sqrt[3]{\frac{P[k]}{K_{opt}}}} \longrightarrow \Omega_{ref}[k+1]$$



- Commande en couple :

$$P(\Omega) = C_{eol} \cdot \Omega \qquad C_{eol} = \frac{C_p(\Omega) \cdot \rho \cdot R^4 \cdot H}{\lambda(\Omega)} \cdot \Omega^2$$

$$\Omega[k] \longrightarrow \boxed{K_{opt} \cdot \Omega^2[k]} \longrightarrow C_{ref}[k+1]$$

http://oatao.univ-toulouse.fr/7381/1/mirecki.pdf

Intégration de l'énergie éolienne

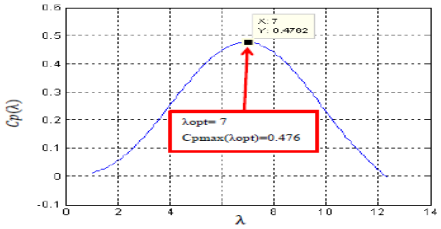
Optimisation de la puissance , Recherche du point de puissance maximale, MPPT

Méthode utilisée au LERPA EIGSI La Rochelle

Dans le cas des éoliennes, les techniques d'extraction maximale de puissance consistent à ajuster le couple électromagnétique de la génératrice pour fixer la vitesse à une valeur de référence (Ω réf) calculée pour maximiser la puissance extraite.
Nous avons opté pour la méthode directe pour la mise en œuvre.
La courbe spécifique Cp (λ) possède une forme en cloche très prononcée. Sur le sommet de cette courbe, on trouve la puissance optimale qu'il est possible d'extraire. Il est caractérisé par la vitesse réduite optimale λopt et le coefficient de puissance maximal Cpmax . La référence de la vitesse de la turbine doit donc correspondre à cette valeur optimale. Elle est obtenue à partir de l'équation :

$$\Omega ref = \frac{\lambda opt \, . \, V}{R} \times m$$

m étant le coefficient de multiplication de vitesse. Dans notre cas, il est pris égal à deux.



Courbe caracteristique de l'éolienne $Cp(\lambda)$

Intégration de l'énergie éolienne

A propos de normes et règlementations

Les **installations éoliennes raccordées au réseau de distribution**, c'est-à-dire d'une **puissance inférieure à 12 MW** (pouvant aller jusque 17 MW par dérogation), sont soumises aux mêmes articles réglementaires que les installations photovoltaïques.

D'autres obligations relatives au réseau de transport, détaille les **spécificités de comportement des éoliennes**.

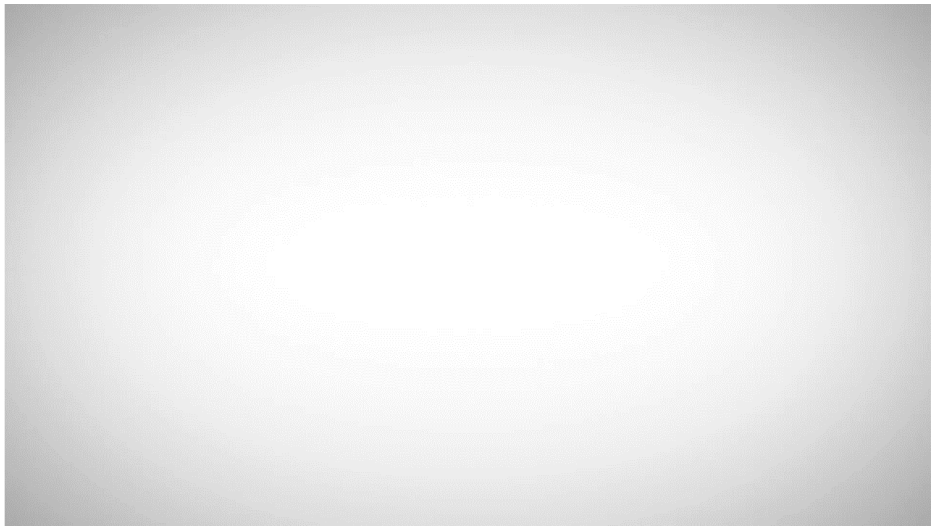
La plupart des éoliennes installées aujourd'hui ont une **puissance unitaire** de **2 MW** à **2,5 MW**.

Source **LES AVIS DE L'ADEME**

Plan général

- **Introduction**
- **Intégration de l'énergie solaire photovoltaïque**
- **Intégration de l'énergie éolienne**
- **Notion de Smart grids**
- **Publications**

Introduction



https://www.youtube.com/watch?v=nGsYqvl6IP8

Notion de Smart grids

Définition

« Smart grids » = réseau d'électricité intelligent

Un nouveau concept du réseau de transmission et de distribution d'électricité.

Objectif

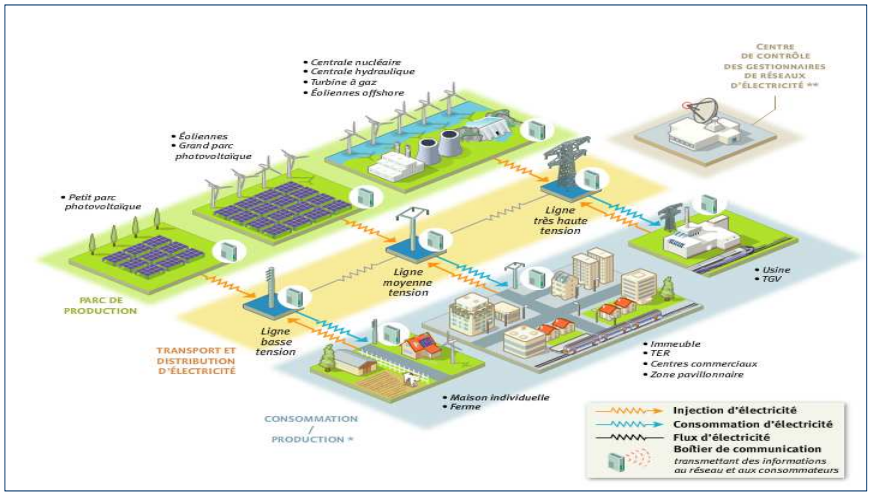
Distribuer l'énergie de façon plus efficace, plus économique et plus durable qu'un réseau classique, tout en assurant l'approvisionnement.

Structure

ce nouveau réseau électrique se double d'un réseau de communication : il intègre un ensemble de capteurs et d'autres instruments de mesures qui sont directement connectés à des centres de pilotages et qui renseignent sur l'état de la consommation, de la demande et de l'offre disponible.

Notion de Smart grids

Depuis les producteurs d'énergie jusqu'aux utilisateurs, toutes les données sont rassemblées, mises en concordance et analysées par des outils informatiques pour permettre une meilleure gestion de l'électricité. **Le réseau est devenu totalement communicant.**



Notion de Smart grids

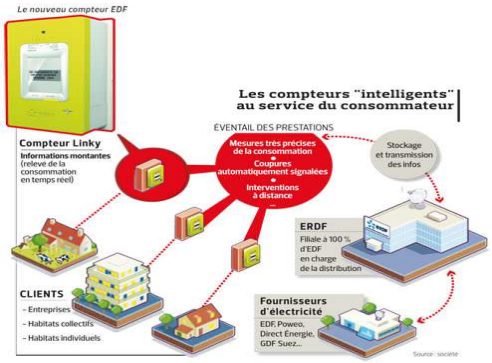
Équipements utilisés

- **Les compteurs intelligents/Smart Meter**

- *Les consommateurs / consom'acteurs* : ils permettent au niveau utilisateur un suivi détaillé de la consommation en électricité. Ils pourront, s'ils le souhaitent, connecter leur compteur avec le système de gestion énergétique et permettre un affichage déporté en temps réel des informations. (Linky en est un exemple). D'une manière générale, on peut dire que c'est le consommateur qui est remis au centre du réseau.

- *Les opérateurs de réseau* : ils pourront intégrer les informations de comptage intelligent en temps réel à leur centre de contrôle pour permettre une modélisation plus fine du réseau et de la demande.

- *Les fournisseurs / agrégateurs* : ils permettront un accès plus fréquent aux profils de consommation de leurs clients pour élaborer des offres de tarif et de service multiples.



Compteur Linky

Notion de Smart grids

Équipements utilisés

- **Équipements de comptage, de stockage, de pilotage**

Les capteurs = fondement de l'intelligence du réseau électrique

Ces équipements mesurent, recueillent les informations d'environnement là où ils sont situés. Ils permettent, en plus, d'analyser ces données, de les formater et de les enregistrer localement. Il sont utiles d'une part à une gestion des réseaux électriques et d'autre part à la protection de ces infrastructures.

Le stockage

Il permet d'un côté pour les usagers d'assurer une certaine autoconsommation, autoconsommation génératrice d'économie et d'assurance envers les pannes de secteurs. De plus, il permet également de pallier temporairement l'intermittence des énergies renouvelables. Enfin, pour les productions centralisées, il autorise une baisse des facturations en heures pleines.

Notion de Smart grids

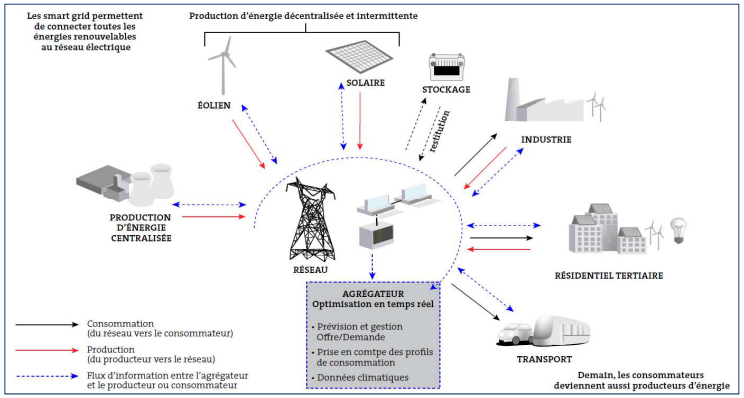
Équipements utilisés

- **Équipements de comptage, de stockage, de pilotage**

Les centre de pilotage intégrés

Ils facilitent notamment le pilotage de la production à base d'énergie renouvelable et l'optimisation des flux d'énergie dans les réseaux.

Agrégateur & Smart Grid



Notion de Smart grids

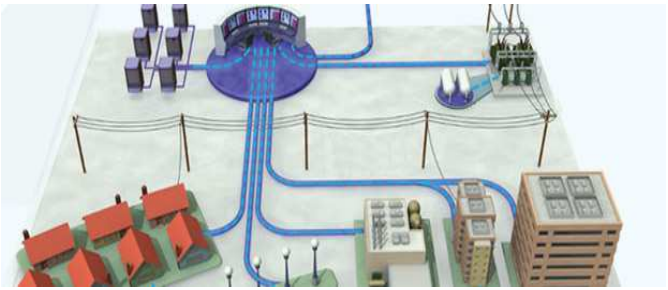
Les smart grids en France et dans le monde

- En France **250 000** compteurs Linky installés en zone urbaine dans la région lyonnaise et en zone rurale, en Indre-et-Loir pour une phase de test à grande échelle.

- Certaines entreprises ont lancé des projets dans quelques villes françaises :

  - le projet Premio lancé par EDF dans la région PACA, qui a permis au premier réseau intelligent de voir le jour en France. De plus, EDF a réitéré ce type de projet dans les îles bretonnes de Hoëdic et de Houat dans le but de sécuriser l'alimentation électrique, il s'agit du projet Adress.

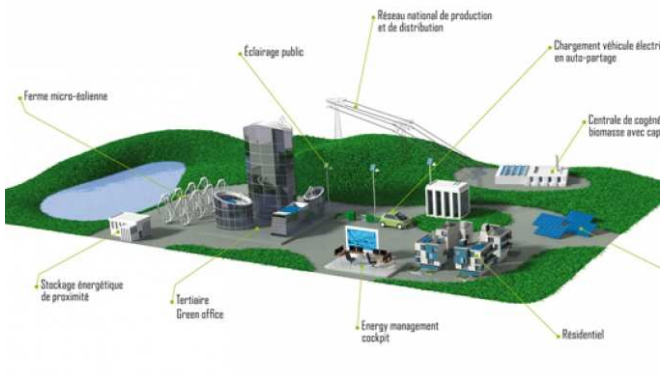
Visualisation 3D du projet PREMIO



Notion de Smart grids

Les smart grids en France et dans le monde

- celui d'IssyGrid à Issy-les-Moulineau, qui est le premier réseau de quartiers intelligents. Ceci permet une opportunité d'échanges avec d'autres villes présentant un projet similaire tel que Masdar (Abou Dhabi) ou Yokohama (Japon).



Projet IssyGrid

Notion de Smart grids

Les smart grids en France et dans le monde

- Veolia Environnement a lancé en 2011 le projet Réflexe (réponse de flexibilité électrique) qui est programme d'expérimentation mené à Nice. Il va mettre en place pendant trois et demi un agrégateur et bénéficie du soutien du centre agrégation Alsom Grid.

La liste est loin d'être exhaustive et beaucoup de projets sont en cours dans différentes régions de France. De même, le monde entier entre en action et adopte de nouveaux projets concernant les réseaux intelligents. Cependant, les priorités du Smart Grid varient d'un état à l'autre.

Références et publications

- **Dhaker Abbes,** « Contribution au dimensionnement et à l'optimisation des systèmes hybrides éoliens-photovoltaïques avec batteries pour l'habitat résidentiel autonome », thèse de doctorat, 2012.
- **Dhaker Abbes**, André Martinez, Gérard Champenois, Benoit Robyns, « Real time supervision for a hybrid renewable power system emulator », Simulation Modelling Practice and Theory, 03/2014; 42:53–72. DOI:10.1016/j.simpat.2013.12.003.
- **Dhaker Abbes**, Gérard Champenois, André Martinez, Benoit Robyns, « Modeling and simulation of a photovoltaic system: An advanced synthetic study », 3d International Conference on Systems and Control (ICSC13), 29 to October 31, 2013, in Algiers, Algeria.
- Xingyu YAN, **Dhaker ABBES**, Bruno FRANCOIS, « Solar Radiation Forecasting Using Artificial Neural Network for Local Power Reserve » , International Conference on Electrical Sciences and Technologies in Maghreb (CISTEM), at Tunis , Tunisia, November 2014.
- Frede Blaabjerg, Remus Teodorescu, Zhe Chen, Marco Liserre, « Power Converters and Control of Renewable Energy Systems », Research paper, http://www.andretahim.com/Projeto/Literatura/power%20converters%20and%20control%20of%20renewable%20energy%20systems%20paper.pdf
- Ewald F. Fuchs l Mohammad A.S. Masoum, « Power Conversion of Renewable Energy Systems », Book, ISBN 978-1-4419-7978-0 e-ISBN 978-1-4419-7979-7 , DOI 10.1007/978-1-4419-7979-7 , Springer New York Dordrecht Heidelberg London.
- Alexandre HEGO DEVEZA, « Droit et intégration des énergies renouvelables : les règles juridiques relatives au développement et à l'utilisation des énergies renouvelables dans le bâtiment », livre, L'Harmattan,.

Références et publications

- H. Colin (CEA-INES), C. Duvauchelle (EDF), G. Moine (TRANSENERGIE), Y. Tanguy (TRANSENERGIE), B. Gaiddon (HESPUL), T. Tran-Quoc (IDEA) « Raccordement des installations photovoltaïques au réseau public de distribution électrique à basse tension Cadre réglementaire, impacts et préconisations », document disponible sur internet en PDF.
- Corinne Dubois, « Le guide de l'éolien, techniques et pratiques », Livre, Eyrolles.
- B.Robyns, A.Davigny, B.François, A.Henneton, J.Sprooten, « Production d'énergie électrique à partir des sources renouvelables », Hermès Sciences
- Commission européenne, « Réseaux intelligents: de l'innovation au déploiement ». 2011.
- Iulian Munteanu , Antoneta Iuliana Bratcu, Nicolaos-Antonio Cutululis, Emil Ceanga, « Optimal Control of Wind Energy Systems », 2008 Springer-Verlag London.
- Adam MIRECKI , « Etude comparative de chaînes de conversion d'énergie dédiées à une éolienne de petite puissance », Thèse de doctorat, 2005.
- V.BOITIER , P. MAUSSION, « Recherche du maximum de puissance sur les générateurs photovoltaïques », article pdf : http://vincent.boitier.free.fr/INSA/biblio_MPPT/Boitier_Maussion_MPPT_Vfinale.pdf

Merci pour votre attention !