



## Production d'électricité sans interruption au moyen d'un système hybride Eolien / PV / Diesel / Batterie

KAABECHE Abdelhamid

Maître de Recherche B

Division Energie Eolienne, CDER

E-mail: A.kaabeche@cder.dz

Le contexte énergétique actuel, caractérisé par l'épuisement des ressources fossiles, le réchauffement climatique et l'émergence du concept de développement durable, suscite l'essor de solutions énergétiques alternatives. De nombreuses actions sont aujourd'hui menées à plusieurs niveaux, notamment, la réduction d'émissions de gaz à effet de serre (protocole de Kyoto, 1998), la valorisation des systèmes énergétiques via la cogénération, la diminution de la consommation énergétique (maîtrise de la demande d'électricité, MDE) et le développement des énergies renouvelables.

L'utilisation des énergies renouvelables comme alternative écologique aux combustibles fossiles et au nucléaire, s'avère une solution très attrayante du fait qu'elles sont inépuisables, non polluantes, très adaptées à la production décentralisée. Les technologies sont actuellement au point pour utiliser ces énergies au quotidien. Leur exploitation pour la production d'électricité est très rentable dans les sites isolés ; là où l'extension du réseau électrique serait un échec financier.

Néanmoins le caractère aléatoire des énergies renouvelables fait que le système autonome utilisant une seule source d'énergie nécessite une large capacité de stockage afin de satisfaire les besoins énergétiques de la charge et d'assurer une meilleure fiabilité de la production d'énergie. L'utilisation des systèmes hybrides, combinant plusieurs sources d'énergie, permet d'une part, de diminuer la capacité de stockage et d'atténuer les fluctuations de la production causées par la nature aléatoire de ces ressources et, d'autre part, de constituer un complément aux groupes électrogènes diesel utilisés généralement pour la génération d'énergie électrique dans les sites isolés comme c'est le cas pour le sud de l'Algérie. En effet, de nombreux villages en Algérie et dans plusieurs pays à travers le monde sont alimentés par des groupes électrogènes diesel. La maturité dont cette technologie fait preuve et son faible coût en sont les raisons principales. Cependant, l'exploitation de ces groupes électrogènes à faible puissance (au-dessous de 40 à 50% de leur puissance nominale) s'avère peu rentable. Ce fonctionnement augmente d'une part, la consommation spécifique et les coûts de fonctionnement et de maintenance et d'autre part, réduit leur durée de vie. L'utilisation de ces groupes dans des sites isolés caractérisés par une faible demande en puissance reste la principale motivation pour la conception et le développement de systèmes de production combinant les sources renouvelables aux sources conventionnelles (1).

### Centrales diesel de SONELGAZ

Ces centrales qui ne sont pas raccordées au réseau national de transport, alimentent actuellement des micros réseaux isolés en énergie électrique. Les zones géographiques couvertes par ces centrales concernent le sud de l'Algérie (Figure 1).

Actuellement, ces centrales fonctionnent à base de groupes diesel uniquement. Une comparaison entre les niveaux de puissance fait ressortir deux catégories de centrales :

1. Les grandes centrales de puissance supérieure à 1MW, appelées communément par le terme centrales diesel.
2. Les petites centrales dont la puissance est inférieure à 1MW et que nous dénommons microcentrales.

L'opération d'hybridation des centrales diesel (puissance supérieure à 1MW) est non rentable financièrement. En effet, ceci nécessiterait l'installation de parcs batteries de très grande capacité ce qui va accroître considérablement le coût du kWh produit. Pour cette gamme de puissance, il est recommandé l'installation de systèmes PV et/ou éoliens connectés au réseau. Ces systèmes, sans stockage, qui fonctionnent en parallèle avec les groupes électrogènes, permettent de faire des économies de fuel et de renforcer le réseau quand l'ensoleillement et/ou le vent sont disponibles (3).

Pour les microcentrales, l'opération d'hybridation des groupes électrogènes existants peut être considérée comme une solution pour les différents problèmes d'exploitation. En effet, un tel fonctionnement permet de réduire considérablement la consommation en fuel, d'autant plus que le transport de carburant pour ces microcentrales est une opération très onéreuse (4).

### Les différentes configurations de systèmes hybrides (2)

Pour des applications en sites isolés, les générateurs PV et/ou éolien génèrent conjointement du courant continu, mais la consommation domestique exige le plus souvent du courant alternatif, c'est pourquoi il est souvent nécessaire d'adjoindre au système un onduleur. De cette façon, ces deux unités de production travaillent en parallèle ou en alternance avec le générateur diesel. A cet effet, on distingue les configurations suivantes:

- Système hybride Eolien/PV/Diesel série
- Système hybride Eolien/PV/Diesel commuté
- Système hybride Eolien/PV/Diesel parallèle.

### Configuration série

Dans cette configuration, l'énergie produite par le générateur diesel est d'abord redressée et puis convertie de nouveau en alternatif pour être fournie à la charge, ce qui implique des pertes de conversion significatives. Lorsque l'énergie produite conjointement par les générateurs PV et éolien ainsi que l'énergie stockée sont suffisantes pour répondre à la demande de la charge, le générateur diesel est arrêté. La puissance en courant continu fournie par les deux unités de pro-



duction et la batterie est convertie en courant alternatif par un onduleur. De plus, il faut noter que dans la plupart des systèmes de ce type, le rendement du système est diminué à cause du transit d'une grande partie de l'énergie par la batterie, augmentant ainsi le nombre des cycles charge/décharge (Figure 2). Les avantages de cette configuration sont :

- Un dimensionnement facile du générateur diesel ;
- Un schéma électrique simplifié à cause d'une absence de commutation des sources d'énergie en courant alternatif ;
- La mise en marche du générateur diesel n'est pas liée avec une interruption de l'alimentation électrique ;

Les inconvénients sont :

- L'onduleur ne peut pas travailler en parallèle avec le générateur diesel. C'est pourquoi il doit être dimensionné de manière à ce qu'il puisse couvrir la charge maximale possible ;
- La batterie doit avoir une grande capacité ;
- Un rendement relativement faible dans le cas d'un générateur diesel à courant alternatif, parce que la puissance fournie est convertie deux fois avant d'arriver au consommateur ;
- Une avarie éventuelle de l'onduleur provoque une coupure totale de l'alimentation électrique.

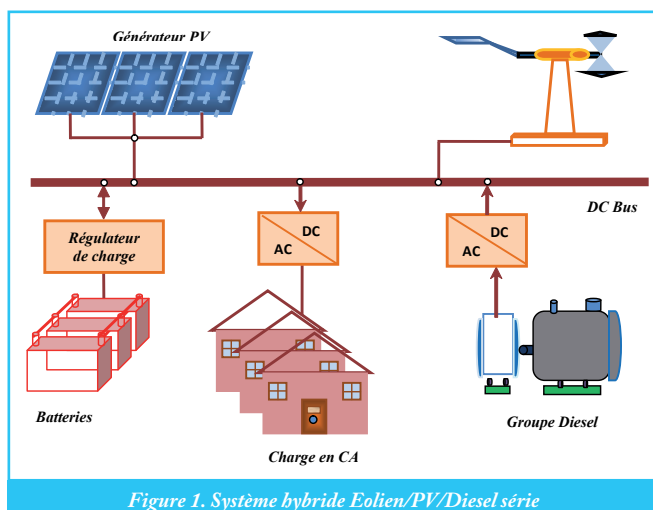


Figure 1. Système hybride Eolien/PV/Diesel série

### Configuration commutée

Elle est souvent utilisée malgré quelques désavantages. Le consommateur peut être alimenté soit par la source conventionnelle, soit par les générateurs PV et éolien et la batterie via l'onduleur. L'alimentation par les deux simultanément n'est pas possible. Le générateur diesel peut charger la batterie par l'intermédiaire d'un redresseur. La gestion du système doit être automatique à cause de la complexité du système hybride. Les avantages de cette configuration sont :

- Le système possède un rendement plus élevé, parce que le générateur diesel peut alimenter directement la charge, d'où une baisse de la consommation de fuel ;
- L'onduleur peut assurer au consommateur la tension demandée en forme et valeur ;

- Une éventuelle panne avarie de l'onduleur n'engendre pas l'arrêt complet de l'alimentation électrique, parce que la charge peut être satisfaite par le générateur diesel.

Les inconvénients sont :

- L'apparition d'une coupure instantanée de l'alimentation lors de la commutation des sources ;
- Le générateur et l'onduleur doivent être dimensionnés pour la consommation maximale du système. De cette façon, ils fonctionnent avec un moindre rendement lors des périodes de faible charge ;
- Une construction complexe.

### Configuration parallèle

Dans cette configuration, le générateur diesel est interconnecté sur le bus de courant alternatif. Les générateurs PV et éolien et la batterie sont connectés sur le bus de courant continu. Les deux bus sont connectés à l'aide d'un convertisseur électronique bidirectionnel. Il peut travailler soit comme redresseur, lorsque le générateur diesel couvre la consommation électrique et participe dans le chargement de la batterie, soit comme onduleur, quand la charge (ou une part d'elle) est satisfaite par les générateurs PV et éolien et/ou la batterie. De cette façon, la charge peut être alimentée par les deux bus simultanément. Les avantages de cette configuration sont :

- Les composants du système ne doivent pas être dimensionnés pour la charge totale, parce que le consommateur peut être alimenté par les sources en même temps ;
- Un meilleur rendement, parce que les sources fonctionnent avec une puissance plus proche de leur puissance nominale. De plus il n'y a pas une conversion de l'énergie produite par le générateur diesel ;
- Diminution du nombre des convertisseurs électroniques, ce qui diminue le câblage nécessaire et l'investissement initial pour la construction du système hybride ;
- Une avarie du convertisseur électronique ne provoque pas de coupure de l'alimentation de la charge.

Les inconvénients de la configuration sont :

- Le contrôle automatique est obligatoire pour le fonctionnement correct du système ;
- Le convertisseur électronique doit fournir une tension sinusoïdale, pour que la synchronisation avec le générateur diesel soit possible ;
- Les batteries vieillissent rapidement (pas de chargeur) ;
- Le bus continu est plus difficile à contrôler.

Pour des applications d'intérêt sensible et stratégiques, la disponibilité permanente de l'énergie est vitale. Ceci conditionne dans une large mesure la fiabilité du système d'alimentation. Dans ces cas-là, il est recommandé de choisir la configuration commutée.

Dans ce qui suit on présente les résultats d'une étude technico-économique appliquée à la région de Ghardaïa.

## Exemple d'une étude technico-économique d'un système hybride

Cette étude est effectuée pour un système hybride Eolien/PV/Diesel alimentant un groupement de maisons dans la région de Ghardaïa. La puissance totale installée étant de l'ordre de 10 kW, trois types d'installations sont comparées : (i) système Eolien/PV/Diesel/batteries, (ii) système Eolien/PV/batteries et (iii) groupe diesel seul. Le nombre de modules PV ainsi que le nombre d'éoliennes sont optimisés compte tenu des potentiels solaire et éolien disponibles dans

la région. Une estimation économique est ensuite effectuée. Les résultats obtenus sont synthétisés dans le tableau ci-dessous (5).

Ces résultats montrent que le système hybride Eolien/PV/diesel/batteries est le plus économique en comparaison avec un système hybride Eolien/PV/batteries ou avec un générateur diesel seul, d'où la nécessité de l'hybridation des micro-centrales diesel de SONELGAZ par le photovoltaïque et/ou l'éolien.

Tableau 1. Analyse des coûts des différentes configurations de systèmes hybrides dans la région de Ghardaïa.

Cas du système hybride Eolien/ PV/diesel/batteries	
Item	Résultats optimaux
Nombre de modules PV	53
Nombre d'éoliennes	1
Coût actuel net global (USD)	183982
Coût du kilowattheure d'énergie (USD/kWh)	1.30
Nb. d'heures de fonctionnement du DG (h/an)	104
Consommation du fuel (l/an)	124
Emission de CO2 (kg/an)	390
Cas du système hybride Eolien/ PV/batteries	
Item	Résultats optimaux
Nombre de modules PV	98
Nombre d'éoliennes	1
Coût actuel net global (USD)	206087
Coût du kilowattheure d'énergie (USD/kWh)	1.50
Cas du générateur diesel seul	
Item	Data
Coût actuel net global (USD)	219834.2
Coût du kilowattheure d'énergie (USD/kWh)	1.60
Nb. d'heures de fonctionnement du DG (h/an)	8760
Consommation du fuel (l/an)	5 828
Emission de CO2 (kg/an)	18 358

## Références

1. Wichert B, 2000. «Control of photovoltaic-diesel hybrid energy systems», PhD thesis, Curtin University of technology; April.
2. Luna-Rubio R, Trejo-Perea M, Vargas-Vazquez D, Rios-Moreno G. J, , 2012. «Optimal sizing of renewable hybrids energy systems: A review of methodologies», Solar Energy, Vol.86, N°. 8, pp. 1077-1088.
3. Khelif A, , 2006. «The grid connected system - solution for the future», 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference, Dresden, Germany, 4-8 September.
4. Khelif A, Talha A, 2008. «Etude d'hybridation de la micro-centrale diesel de Bnoued», 5ème Conférence Internationale JTEA'2008, Hammamet, Tunisie, 2-4 Mai.
5. Kaabeche A, Belhamel M, Ibtouen R, 2011. «Techno-economic valuation and optimization of integrated photovoltaic/wind energy conversion system», Solaire Energy, Vol.85, N°.10, pp. 2407-2420.