



## Développement d'un projet de ferme éolienne



### Types de projets éoliens

Adrian Ilinca  
Jean-Louis Chaumel  
Hussein Ibrahim



**ALEP, SYRIE, 22-25 Octobre 2007**

## Types de projets éoliens

### Applications hors réseau

- Cas des sites isolés loin d'un réseau électrique où les besoins en énergie sont relativement faibles (généralement de moins de 10 kW)
- L'énergie électrique produite sera emmagasinée dans des batteries pour fournir, après, de l'électricité sur demande
- L'électricité produite est très concurrentielle par rapport à l'extension du réseau électrique, aux batteries non rechargeables, aux génératrices à moteur diesel ou à moteur à essence
- Possibilité d'applications : communautés isolées, télécommunications, pompage de l'eau, chalets, pourvoires, stations scientifiques, ...



## Types de projets éoliens

### Applications en réseau

- Deux types des projets éoliens en réseau existent – réseau isolé ou central :
- Cas d'un **réseau isolé** où la puissance installée par éolienne varie en général de 10kW à 200kW environ
- Ce sont des systèmes hybrides éolien-diesel
- En raison du prix élevé du transport du carburant diesel aux sites éloignées, la production d'électricité est généralement coûteuse
- La fonction première de la centrale éolienne est de contribuer à réduire la consommation de carburant diesel et les frais d'exploitation
- Une importante réduction d'émissions polluantes



## Types de projets éoliens

### Applications en réseau

- Cas d'une **centrale éolienne raccordée à un réseau central**, où la puissance installée par éolienne varie en général de 200 kW à 2 MW
- Les éoliennes sont regroupées pour former des parcs ayant une capacité totale de plusieurs mégawatts
- Regroupement des plusieurs grandes éoliennes installées par des particuliers, des entreprises ou des coopératives
- C'est l'application la plus répandue – croissance très rapide



## Types de projets éoliens

### Projets hybrides : éolien-diesel pour des applications aux sites isolés

- Sites isolés - Réseaux autonomes
  - On appelle les « sites isolés, les régions qui ne sont pas ou ne peuvent pas être reliés au réseau public de distribution de longue distance ou au moyen de la génération conventionnelle.
  - Il est techniquement trop complexe d'étendre le réseau jusqu'à ces secteurs (en zone montagneuse, îles par exemple) à cause du coût cher de lignes de transmission et des pertes liées à la distribution de la puissance centralement développée aux régions éloignées
  - L'approvisionnement en électricité de ces communautés dépend seulement des génératrices autonomes fonctionnant au diesel dans la plupart des régions du monde, particulièrement aux pays en voie de développement.

## Types de projets éoliens

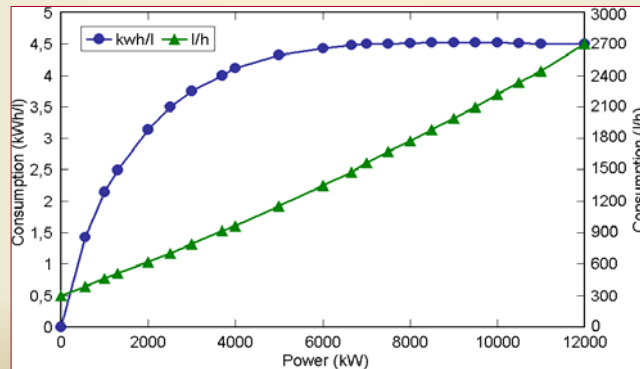
### Projets hybrides : éolien-diesel pour des applications aux sites isolés

- Problématiques liés au groupe électrogène diesel dans les régions éloignées
  - La production d'électricité dans les communautés éloignées a des coûts prohibitifs en raison du prix élevé du transport du carburant diesel.
  - Les difficultés de transport et les particularités de livraison font également varier ce coût.
  - Pour des sites accessibles seulement en hélicoptère, le prix du transport du carburant augmentera d'une façon qu'il serait difficile de récupérer les coûts de l'investissement, même à long terme, surtout si on tient compte de l'augmentation du prix du carburant et des éventuelles crédits pour la réduction des gaz à effet de serre (GES).
  - Les groupes électrogènes diesel, tout en étant relativement peu chers, sont généralement chers à exploiter et maintenir, particulièrement au niveau de la charge partielle

## Types de projets éoliens

### Projets hybrides : éolien-diesel pour des applications aux sites isolés

- Problématiques liés au groupe électrogène diesel dans les régions éloignées
- L'utilisation de groupes électrogènes diesel sous faibles facteurs d'utilisation leur est très néfaste au niveau de l'usure et entraîne des consommations élevées de carburant



Consommations des groupes diesel ZA40S à Cap-aux-Meules (Québec, Canada)

## Types de projets éoliens

### Projets hybrides : éolien-diesel pour des applications aux sites isolés

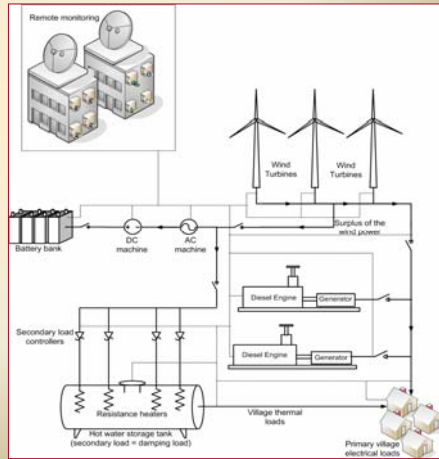
- La solution éolienne
- Les génératrices diesels des réseaux autonomes pourraient être couplées à des éoliennes, afin de réduire leur utilisation et donc la consommation de carburant pour la production d'électricité.
- Les émissions de gaz à effet de serre seraient donc réduites et les coûts de production de l'électricité diminués.
- Les défis à surmonter, pour ce type de projet au Nord Canadien, sont liés aux caractéristiques du climat nordique et à l'éloignement

## Types de projets éoliens

### Projets hybrides : éolien-diesel pour des applications aux sites isolés

#### Principe du jumelage éolien-diesel (JED)

- Le «Jumelage Éolien-Diesel» (JED) représente une technique de génération d'énergie électrique en utilisant en parallèle une ou plusieurs éoliennes avec un ou plusieurs groupes diesel.
- Cette approche est utilisée actuellement dans des communautés nordiques au Canada et aux États-Unis.
- La conception préliminaire du JED prévoit l'utilisation d'une centrale diesel existant déjà et l'ajout d'un parc éolien comportant un seul modèle de turbine
- Il faut ajouter les composants nécessaires à l'exploitation jumelée du système : charges secondaires de lissage, régulateur et commande automatisée.



## Types de projets éoliens

### Projets hybrides : éolien-diesel pour des applications aux sites isolés

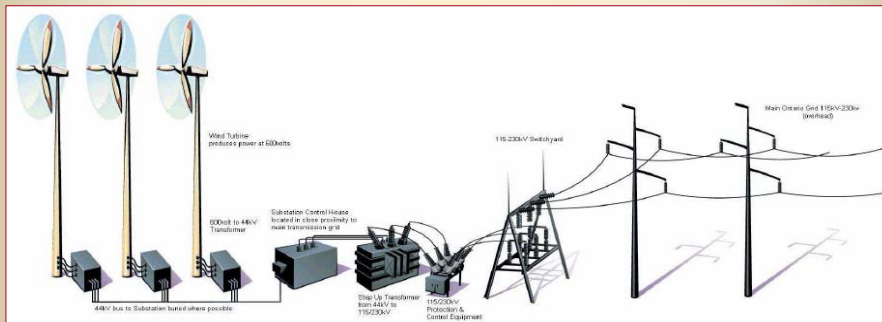
#### Avantages du jumelage éolien-diesel (JED)

- Le (JED) représente une solution intéressante pour l'électrification des consommateurs dans les sites isolés.
- Il amène des économies de carburant beaucoup plus intéressantes (50 à 80% selon le gisement éolien)
- Il permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre
- Il permet de réduire les déficits d'exploitation des réseaux autonomes en apportant des économies sur l'entretien et sur le coût de remplacement des diesels.

## Types de projets éoliens

### Projets hybrides : éolien-diesel pour des applications aux sites isolés

- Taux de pénétration en énergie =  $\frac{\text{Production annuelle de l'éolienne}}{\text{Demande annuelle en énergie}}$
- Taux de pénétration en puissance =  $\frac{\text{Puissance installée en éolien}}{\text{Charge au réseau}}$



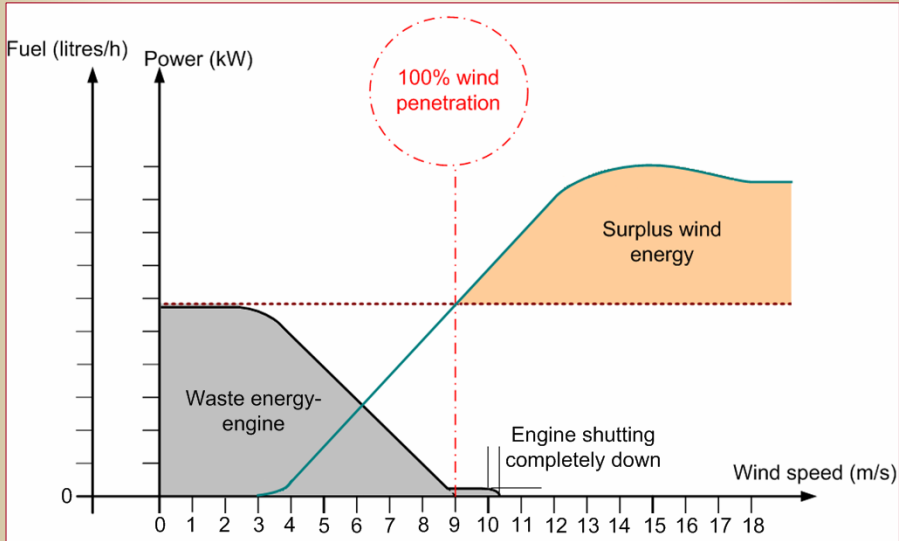
## Types de projets éoliens

### Projets hybrides : éolien-diesel pour des applications aux sites isolés

- *Régimes de fonctionnement d'un système hybride éolien-diesel*
- **Vents faibles et diesels seuls**
- Dans ce cas, le système de contrôle des éoliennes les met hors circuit. C'est le groupe électrogène (diesel) qui assure la production de puissance et les asservissements de tension et de fréquence.
- **Vents moyens, diesels et éoliennes en service**
- Dans ce mode de fonctionnement, la puissance provient des éoliennes et des diesels. Les régulations de tension et de fréquence sont réalisées par le groupe électrogène.
- **Vents forts, éoliennes seules**
- Dans ce cas, la production éolienne est supérieure à la demande, il est alors possible d'éteindre complètement les diesels. Une charge de lissage doit être mise en service et contrôlée par un régulateur de fréquence qui dicte la puissance à dissiper dans la charge de lissage

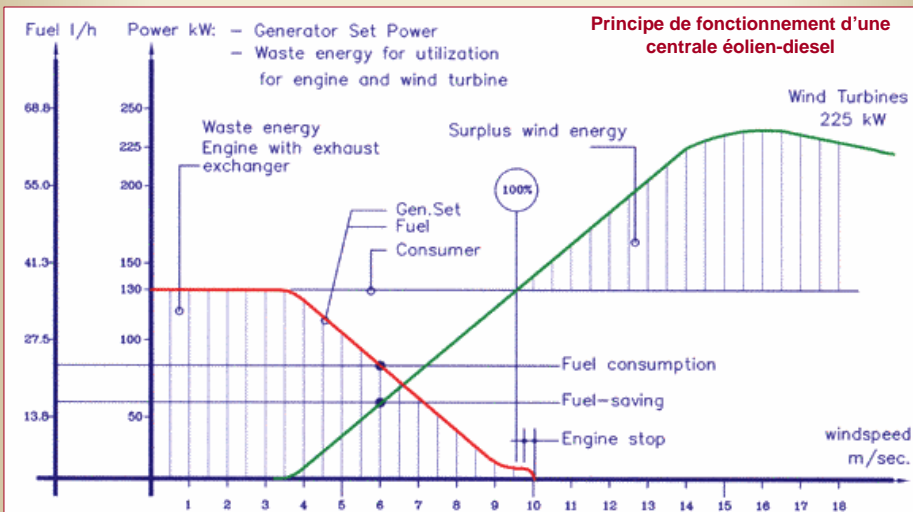
## Types de projets éoliens

### Projets hybrides : éolien-diesel pour des applications aux sites isolés



## Types de projets éoliens

### Projets hybrides : éolien-diesel pour des applications aux sites isolés



## Types de projets éoliens

### Projets hybrides : éolien-diesel pour des applications aux sites isolés

- Système éolien en basse pénétration :
  - Taux de pénétration en énergie < 20%
  - Taux maximal de pénétration en puissance < 50%
  - Utilisé dans le cas d'insertion de l'éolien sur centrales existantes
  - La production éolienne est dirigée sur la charge prioritaire
  - Peu de systèmes de contrôle requis
  - Effets limités sur les coûts de carburant et les périodes d'exploitation du diesel
  - Retour sur investissement peut être élevé si bonne conception de la centrale

## Types de projets éoliens

### Projets hybrides : éolien-diesel pour des applications aux sites isolés

- Système éolien en haute pénétration :
  - Taux de pénétration en énergie > 50%
  - Taux maximal de pénétration en puissance > 100%
  - Impact important sur la consommation du carburant, durée d'exploitation et de vie du diesel
  - En général, nécessite un banc de stockage pour optimiser l'utilisation de l'éolienne
  - Nécessite des équipements supplémentaires pour effectuer la régulation complète du système (compensateur synchrone, convertisseur/onduleur,...)
  - Retour sur investissement plus difficile en raison des coûts d'implantation élevés mais effet amoindri par la réduction importante des coûts d'exploitation du diesel

## Types de projets éoliens

### Projets hybrides : éolien-diesel pour des applications aux sites isolés

- **Problématiques du Jumelage éolien-diesel (JED)**
- Au-delà d'une certaine pénétration, l'obligation de maintenir un diesel en marche en tout temps et de le maintenir à plus de 30 % de sa puissance nominale force le rejet d'une quantité appréciable de l'énergie éolienne. Ceci limite l'énergie éolienne à un niveau de pénétration trop faible
- À basse pénétration, les éoliennes agissent uniquement comme une charge négative pour le réseau, mais le diesel consomme, même à vide, environ 50% du carburant à puissance nominale.
- Selon ce mode de fonctionnement, dans un village de 200 kW, on ne pourrait installer qu'une seule éolienne de 60 kW. Il est clair que, considérant les coûts de logistique du Grand Nord canadien, de tels projets ne sont pas économiquement avantageux.

## Types de projets éoliens

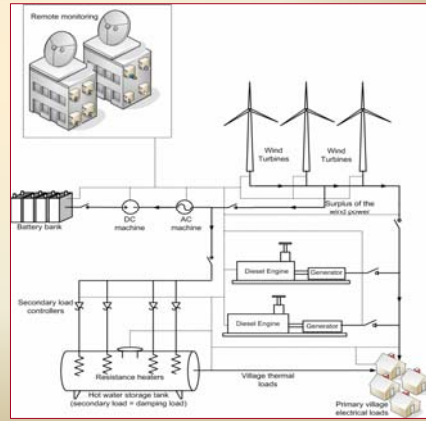
### Projets hybrides : éolien-diesel pour des applications aux sites isolés

- **Problématiques du Jumelage éolien-diesel (JED)**
- Une solution permettant de pouvoir lever cette contrainte d'exploitation de JED se base sur le Jumelage Éolien Diesel à Haute Pénétration Sans Stockage (JEDHPSS).
- On définit le taux de pénétration en puissance (TPP) par le rapport entre la puissance éolienne installée et la puissance maximum de la charge tandis que le taux de pénétration en énergie (TPE) est défini comme le rapport entre l'énergie éolienne annuelle produite et l'énergie consommée par la charge.
- Le (JEDHPSS) est caractérisé par des valeurs  $TPP > 1$  causée par l'augmentation du nombre d'éoliennes
- Ceci permet de fournir une puissance plus stable et l'arrêt complet des groupes diesel durant certaines périodes de temps et augmenter les bénéfices économiques et environnementaux de la production éolienne et permet la réduction la plus importante de la consommation de diesel et des émissions de GES.

## Types de projets éoliens

### Projets hybrides : éolien-diesel pour des applications aux sites isolés

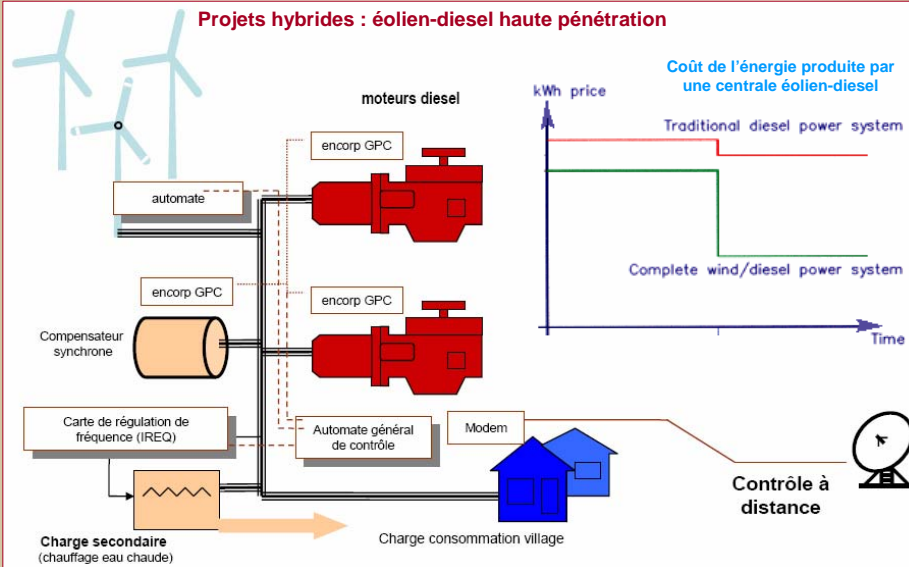
- Problématiques du Jumelage éolien-diesel (JED)**
- La conception de (JEDHPSS) est sujet à des problèmes techniques complexes dont les solutions sont très coûteuses, ce qui fait qu'un seul projet de ce type, sans aucun stockage, est actuellement opérationnel en Alaska.
- Un problème technique important de JEDHPSS résulte d'une forte fluctuation de la puissance produite par l'aérogénérateur, qui est généralement incompatible avec la puissance demandée par des utilisateurs domestiques ou commerciaux typiques. Pour faire face à ce problème, il faut intégrer un système qui absorberait l'énergie excédentaire (charge de délestage).



## Types de projets éoliens

### Projets hybrides : éolien-diesel pour des applications aux sites isolés

#### Projets hybrides : éolien-diesel haute pénétration



## Types de projets éoliens

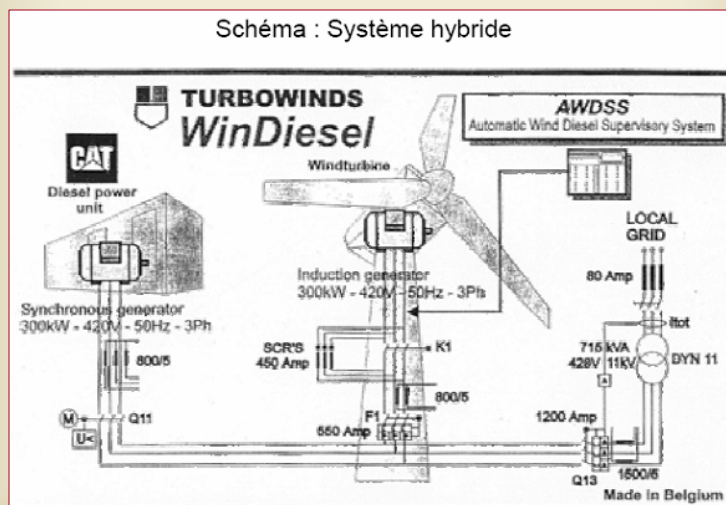
### Projets hybrides : éolien-diesel pour des applications aux sites isolés

- **Problématiques du Jumelage éolien-diesel (JED)**
- En l'absence du stockage d'énergie, une fréquence de cycle arrêt/marche élevée est évidente. Ceci mènera à une usure excessive du diesel et, en conséquence, à une plus grande demande de l'entretien
- L'utilisation des moyens de stockage permet de réduire ces difficultés et maximiser le pourcentage d'énergie éolienne dans l'énergie annuelle totale (le TPE).
- Les moyens de stockage de l'énergie éolienne excédentaire envisagés présentement sont sous forme thermique (eau chaude), ou par des bancs de batteries. Ces dernières sont dispendieuses, difficiles à recycler, une source de pollution (plomb-acides) et limitées en puissance et en durée de vie. Les piles à combustible représentent une alternative viable mais la complexité technique, le prix prohibitif et le faible rendement retardent l'acceptation par le marché.
- Pour cette raison, nous proposons d'utiliser le jumelage éolien-diesel avec stockage sous forme d'air comprimé (JEDSAC) (dans une autre présentation)

## Types de projets éoliens

### Projets hybrides : éolien-diesel pour des applications aux sites isolés

Schéma : Système hybride



## Types de projets éoliens

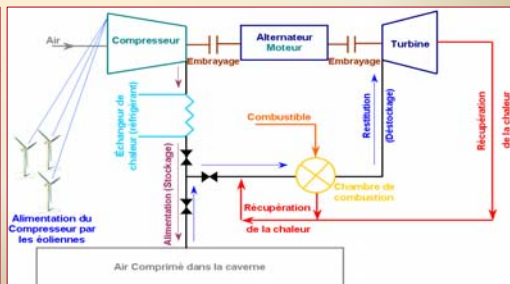
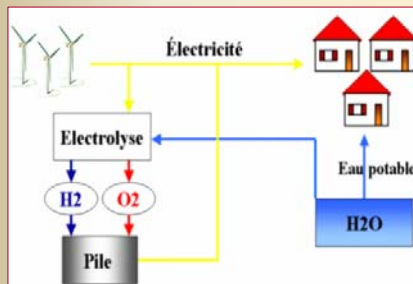
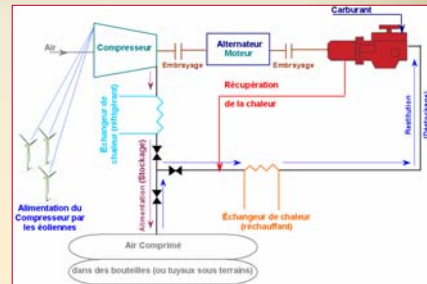
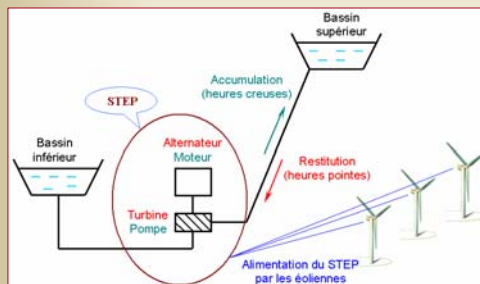
### Projets hybrides : éolien-solaire

- L'industrie du solaire est puissante et politiquement active
- Le solaire ne convient que pour les petites puissances pour être associé à l'éolien
- Le solaire est lié à système de stockage coûteux
- L'éolien fournit alors l'essentiel de la puissance



## Types de projets éoliens

### Projets hybrides : éolien-stockage



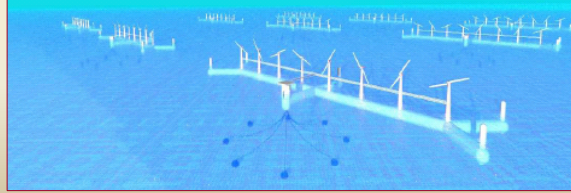
## Types de projets éoliens

### Projets offshore



### Projets d 'offshore flottant

*Hender\_EWEA99*



**UQAR**  
Université du Québec  
à Rimouski



Laboratoire de Recherche en Énergie Éolienne

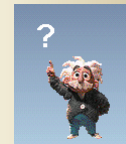
**LREE**

Wind Energy Research Laboratory

## Questions ?



Merci pour votre attention



**UQAR**  
Université du Québec  
à Rimouski



Laboratoire de Recherche en Énergie Éolienne

**LREE**

Wind Energy Research Laboratory