

Université Moulay Ismaïl
Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers



**NATO Sfp-982620 Follow up Meeting
12-13 February 2009 - Ifrane, Morocco**

**Production décentralisée à base de systèmes
éoliens et réseau électrique**

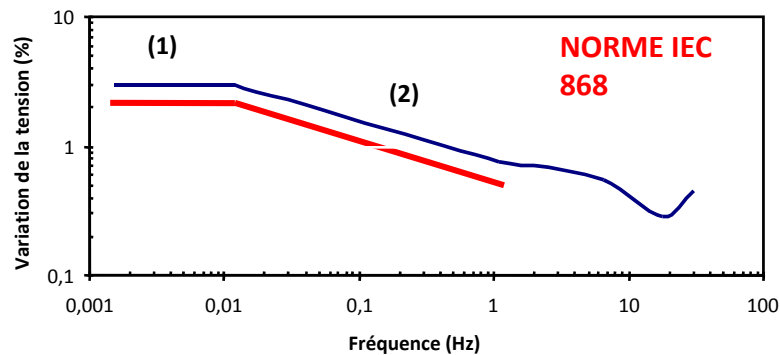
**Dr. Abdelaziz ARBAOUI
Sfp -982620 Project co-director**

Contraintes liées à la qualité de l'énergie électrique

Le critère d'appréciation

Variation de la tension: ΔU

- (1) variations lentes
- (2) variations rapides: Flickers,



La partie (1) de la courbe: variation lente de la tension

$$|\Delta U(\%)| \leq 2.5$$

La partie (2) de la courbe: Flickers

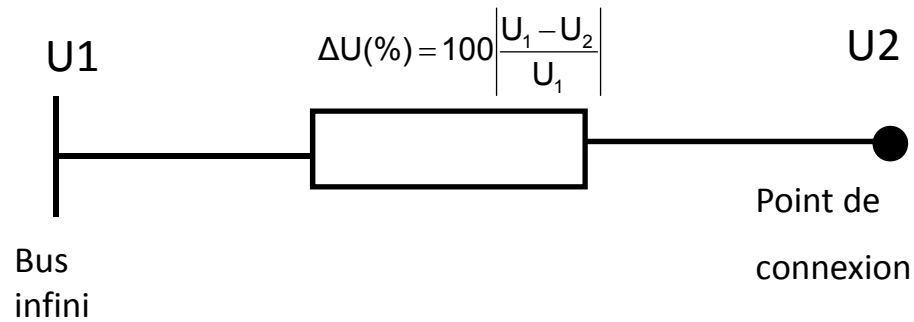
$$|\Delta U(\%)| \leq 0.628.F^{-0.3}$$

Les Modèles à formuler

- *Modèle composant du réseau électrique*
- *Modèle composant de l'unité électrique*
- *Modèle d'interaction de l'unité électrique avec le réseau*

Formulation des modèles

La variation de la tension



Le taux de pénétration

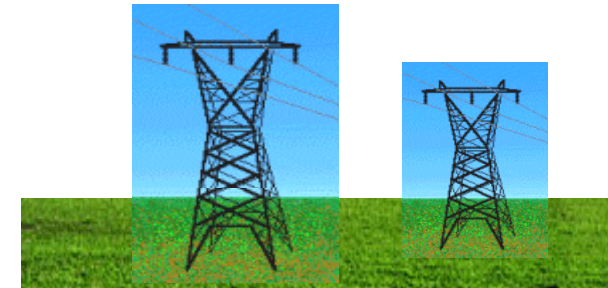
Taux de pénétration maximal

$$S_{Cr} = \frac{P_n}{S_{Sc}}$$

Puissance nominale du système éolien

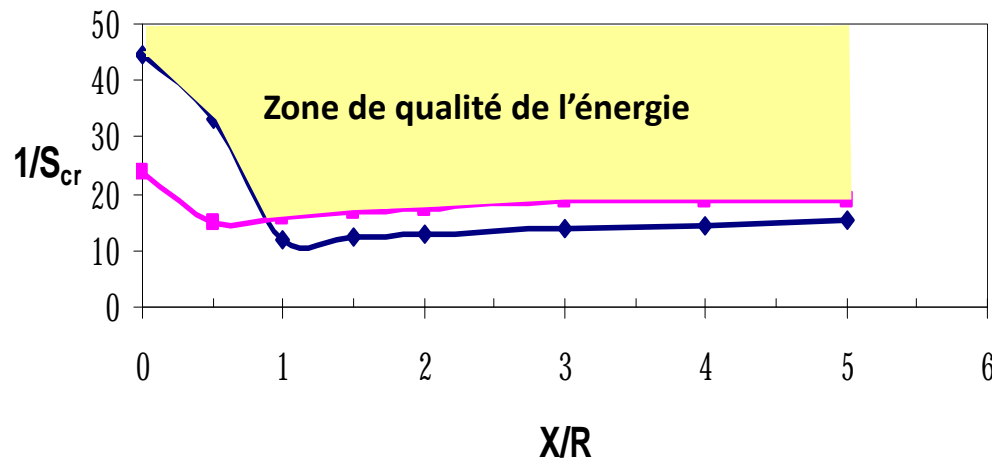
Puissance de court circuit du réseau

Taux de pénétration maximal dans un réseau



$U_1=11\text{kV}$ et $S_{sc}=10\text{MVA}$

- ◆ Limite due aux variations lentes de la tension
- Limite due aux flickers

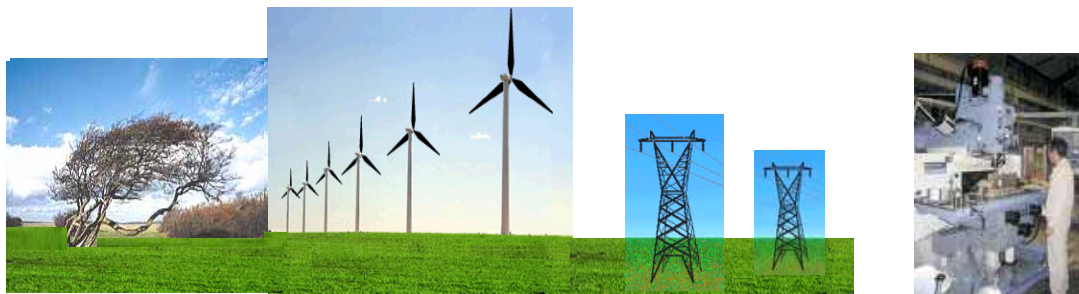
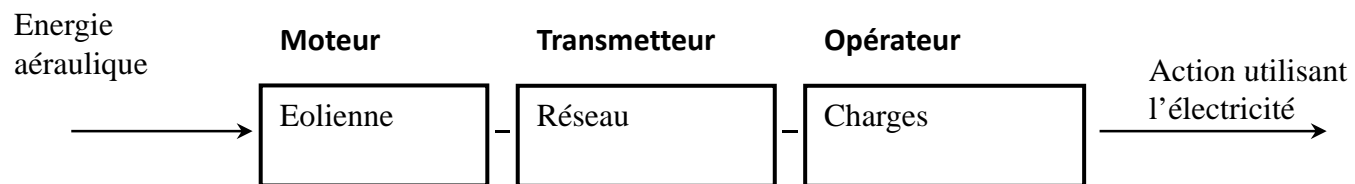


Hypothèses liées au flickers

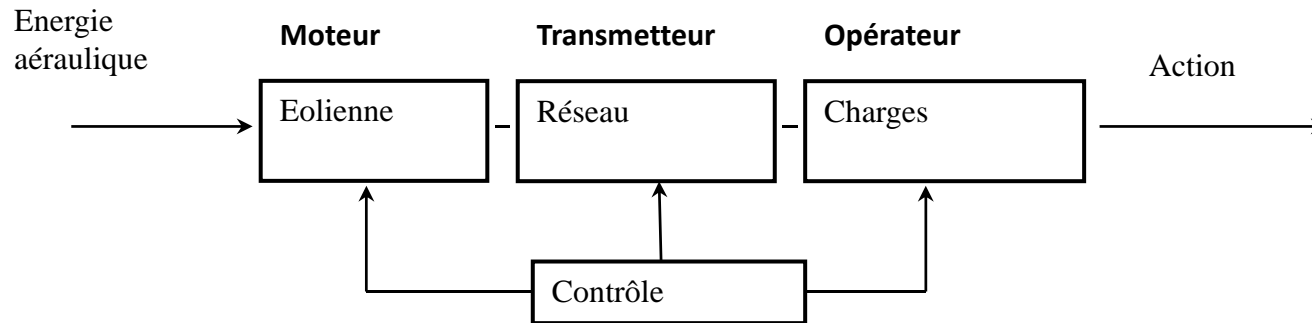
- les fluctuations de la puissance de l'éolienne sont dues à l'ombre du mât
- leur amplitude est de 20% de la puissance nominale de l'éolienne
- leur fréquence est égale à p (nombre de pales) fois la fréquence de rotation

- Pour les réseaux ayant un rapport X/R faible, c'est les variations lentes de la tension qui limite le degré de pénétration de l'énergie éolienne.
- Pour les réseaux ayant un rapport X/R grand, c'est le phénomène de flickers qui limite le degré de pénétration de l'énergie éolienne.

Solutions pour améliorer l'intégration de l'énergie éolienne



Solutions pour améliorer l'intégration de l'énergie éolienne



1. Le composant contrôlé est l'éolienne (solutions internes)

- Contrôle de la puissance active et /ou de la puissance réactive
- Intégration d'un système de stockage de l'énergie électrique

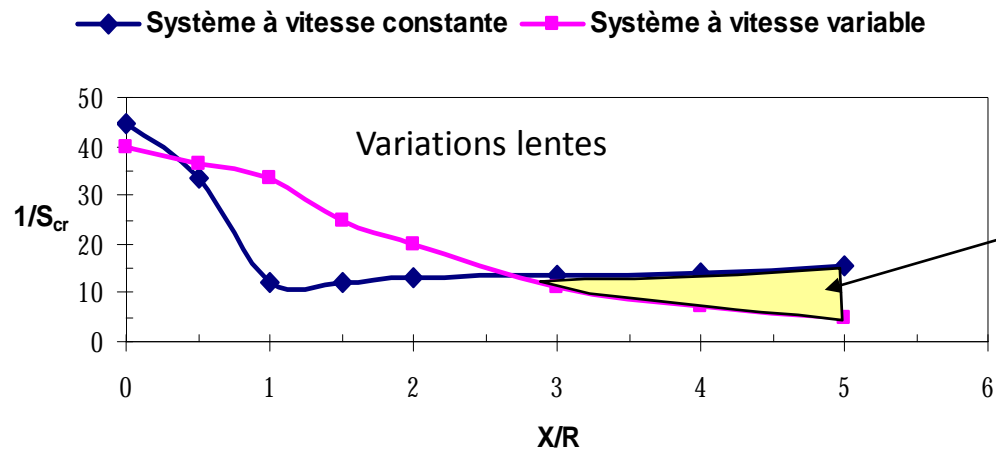
2. Le composant contrôlé est le réseau (solutions externes)

- Injection de la puissance réactive
- Réglage du transformateur du poste source.
- Renforcement du réseau

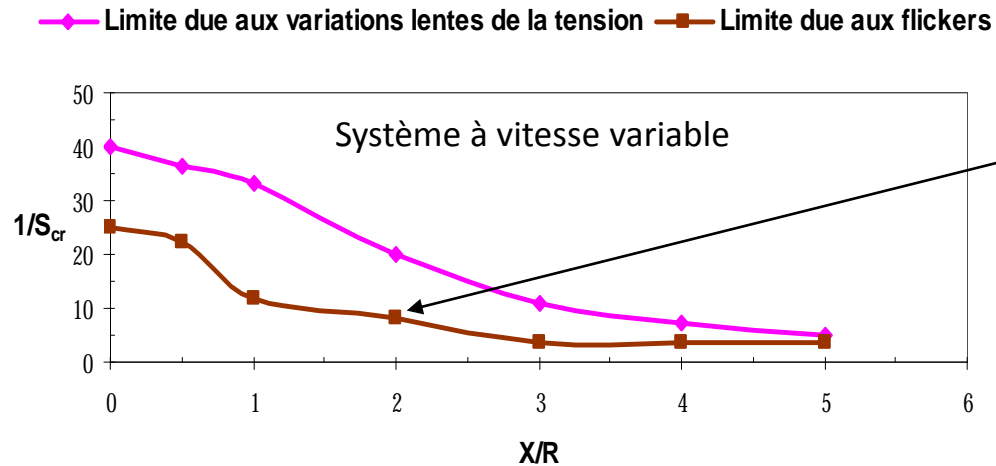
3. Le composant contrôlé est la charge (solutions externes)

Evaluation de l'intérêt du contrôle de la puissance réactive

Contrainte supplémentaire : $\text{Cos}\Phi = 1$



Augmentation du taux de pénétration vis-à-vis de la variation lente de la tension, obtenue pour un $\text{Cos}\Phi = 1$

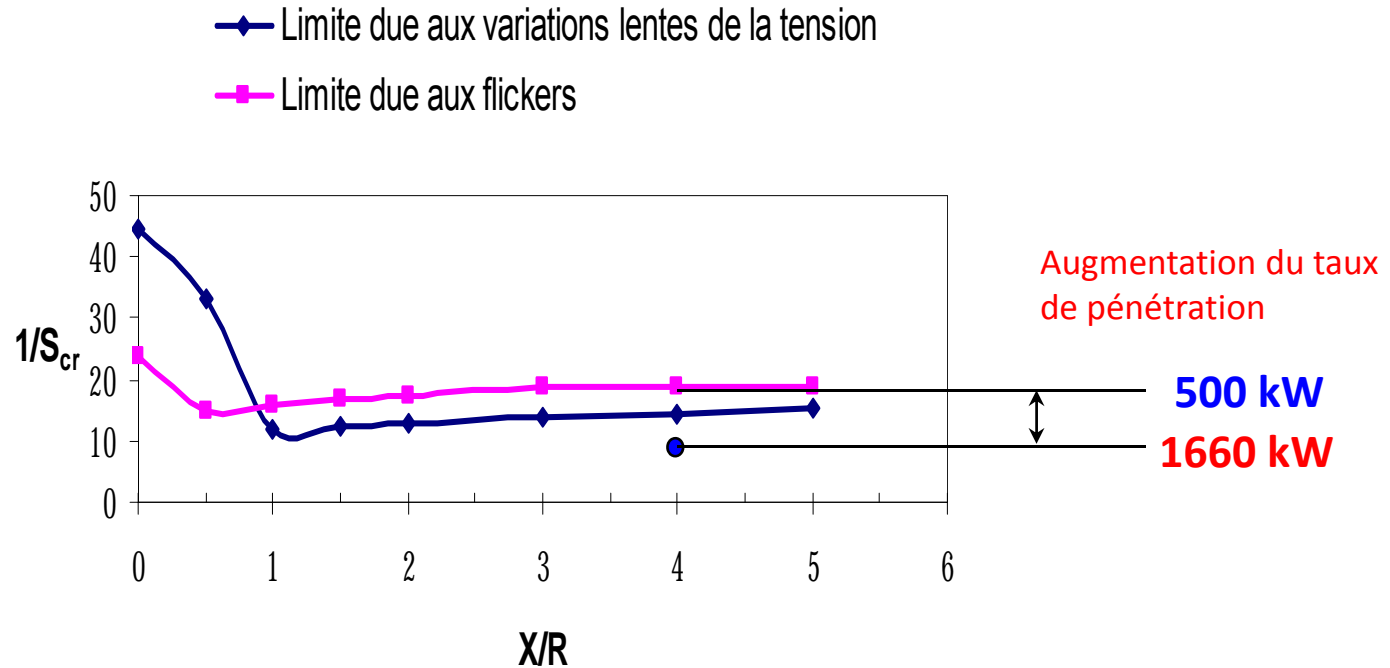


Le phénomène des flickers n'est plus un critère de dimensionnement du réseau

Evaluation de l'intérêt du contrôle de la puissance réactive

Réseau

Scs= 10 MVA,
U₁= 11kV
X/R=4



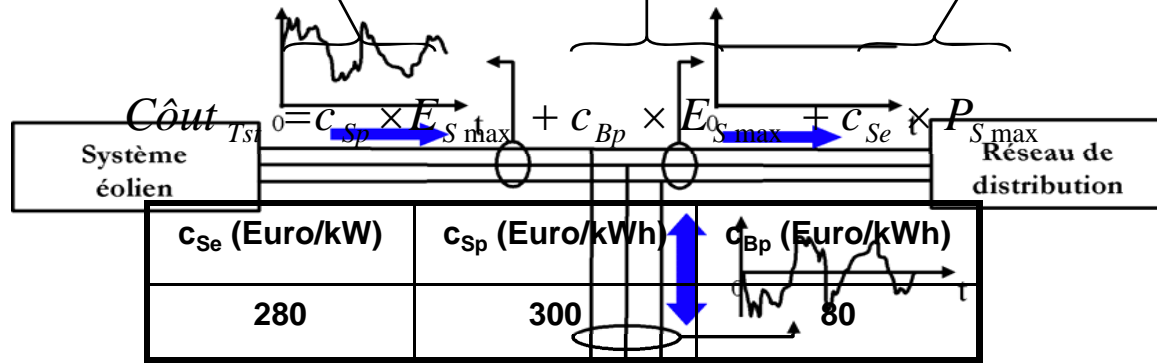
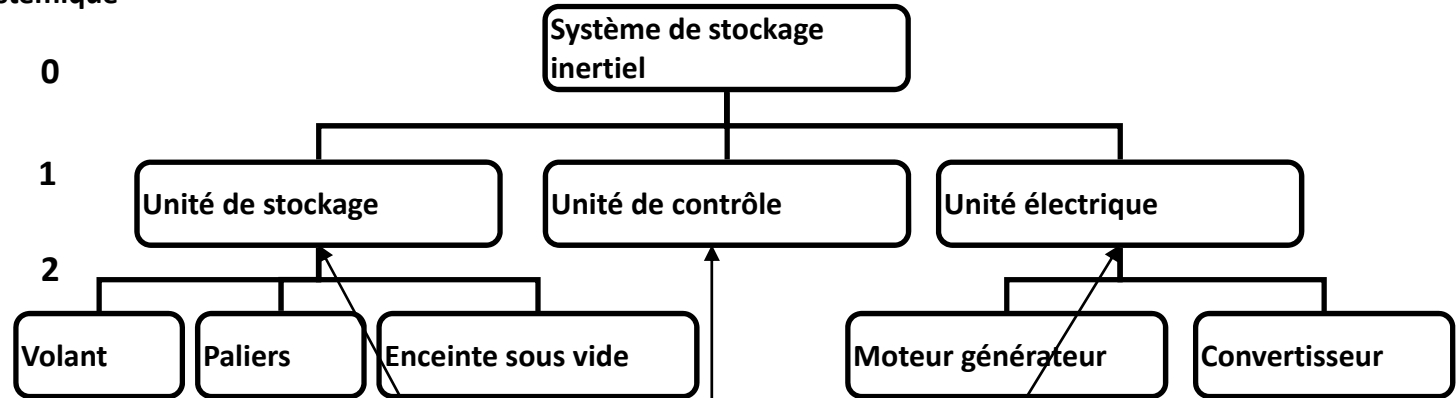
- **Augmentation intéressante du taux de pénétration**
- **Mais**
- **Augmentation d'environ 75%, du coût d'investissement pour l'unité électrique.**

Evaluation de l'intérêt d'un système de stockage inertiel

Système de stockage inertiel = **Capacité de restitution rapide de l'énergie**
Bon rendement (92%)



Niveau systémique



Modèle du coût du système de stockage inertiel [SAN, 2001]

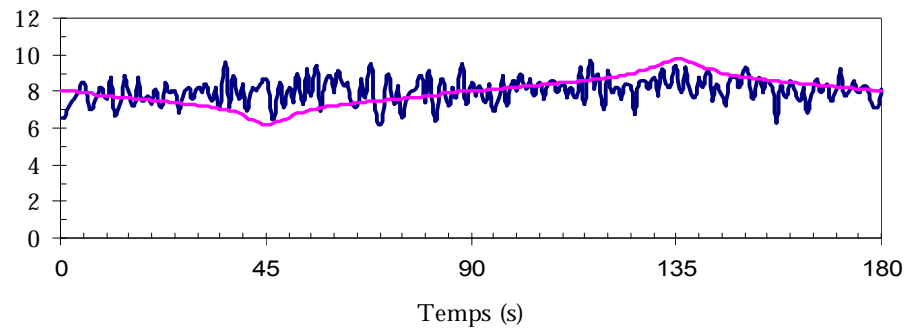
Evaluation de l'intérêt d'un système de stockage inertiel

Modèle composant du vent pour une courte durée (3 min)

— Vitesse mesurée — Vitesse standardisée

Paramètres du vent

L'écart type : σ



Modèle du système éolien



E_{Smax} et P_{Smax}