

# Protection d'une Génératrice Eolienne Raccordé au Réseau de Distribution 10 KV Contre les Courts-circuits Triphasés

ZELLAGUI Mohamed

**Résumé** – Dans cet article on a étudiés les réglages de la protection et les tests d'un relais numérique de protection de maximum de courant phase (PMCP) à temps indépendant pour la protection d'un départ souterrain 10 KV issu du poste HTB/BTA (60/10 KV) MANSOURAH sur le réseau de distribution électrique moyenne tension MT à neutre non distribué de direction de la distribution de CONSTANTINE avec couplage d'une aérogénérateur de 2,5 MW au départ 10 KV DJEBEL EL OUAHCHE. Les essais de cette protection sont basés sur la détection et protégé cette centrale électrique contre les défauts à la phase-phase par la méthode des composantes symétriques (CS). Ces type de protection et confirmé par des essais fait avec des caractéristique réel d'une départ 10 KV et le réglage de cette protection proposée sont performant et confirmés par des résultats pratiques.

**Mot Clés** – Distribution Electrique HTA, Génératrice Eolienne, Raccordement, Protection Electrique.

## I. INTRODUCTION

La conversion de l'énergie éolienne en électricité est un des enjeux de la politique énergétique de notre siècle. Les thèmes du développement durable et de la maîtrise de l'énergie sont chaque jour plus vitaux. Les besoins énergétiques et leurs couvertures à long terme jouent dans ce contexte un rôle central. En effet, les grandes surfaces et l'éloignement des agglomérations du sud rendent le coût des installations d'énergie électrique très élevé. Cependant, les applications énergétiques sont nombreuses et variées, et les exigences technologiques sont plus en plus grandes.

Au début de l'année 2009, on estimait à près de 121 Gigawatts la puissance totale installée de l'ensemble des éoliennes à travers le monde. Le pays possédant la plus grande puissance éolienne installée était les Etats Unis (25 388 MW début 2009) suivi de l'Allemagne (23.903), l'Espagne (16 740), la Chine (12 200), l'Inde (9 645) et, loin derrière, l'Italie (3.736) et la France (3.387). La Belgique arrivait en 22 positions (384 MW).

Le développement de l'énergie éolienne est extrêmement rapide dans certains pays. La puissance installée mondiale a augmenté de 28,5 % entre 2008 et 2009.

En ce qui concerne l'Algérie, la ressource éolienne varie beaucoup d'un endroit à un autre.

ZELLAGUI Mohamed, Groupe SONELGAZ, Société de Distribution de l'Électricité et du Gaz de l'Est (SDE), Direction de la Distribution de Constantine, Division Technique Électricité.  
E-mail: m.zellagui@ymail.com

Ceci est principalement dû à une topographie et un climat très diversifiés. En effet, notre vaste pays, se subdivise en deux grandes zones géographiques distinctes.

Le Nord méditerranéen est caractérisé par un littoral de 1200 km et un relief montagneux, représenté par les deux chaînes de l'Atlas tellien et l'atlas saharien. Entre elles, s'intercalent des plaines et les hauts plateaux de climat continental.

Suite la carte annuelle de la vitesse du vent, le sud d'Algérie est caractérisée par des vitesses plus élevées que le nord, plus particulièrement le Sud-Ouest avec des vitesses supérieures à 4 m/s et qui dépassent la valeur de 6 m/s dans la région d'Adrar. Concernant le nord, on remarque globalement que la vitesse moyenne est peu élevée.

La technologie des microprocesseurs est largement utilisée dans presque tous les aspects de la vie quotidienne. L'ingénierie des systèmes de réseau électrique a également utilisée de cette technologie depuis plus de vingt ans, si bien que la technologie des relais a changé radicalement depuis l'avènement des microprocesseurs.

L'utilisation de cette technologie a rendu physiquement le contrôle et la surveillance des réseaux électriques faciles et rapides, et leur a donné la capacité de communiquer avec leurs pairs et de contrôler d'autres ordinateurs. Ces progrès ont permis de développer d'une manière plus précise, plus rapide et moins coûteuse les systèmes de protection électriques.

## II. SYSTEME AÉROGENERATEUR EOLIENNE

La production d'énergie électrique liée aux énergies renouvelables, essentiellement celle qui est produite par l'énergie éolienne, joue le rôle de complément aux productions d'énergies classiques. Parallèlement à la production de l'énergie éolienne sur le réseau, le marché des centrales éoliennes de petites et moyennes puissances, destinées à l'alimentation des sites isolés, est très prometteur et en plein essor sur le marché de la production de l'énergie électrique.

Un système de générateur éolienne se voit de loin, et pour cause : c'est une machine de grandes dimensions, perchée très haut. Cette haute taille est la conséquence des progrès techniques accomplis dans les dix dernières années afin d'améliorer la puissance électrique et la compétitivité. Une éolienne est composée de trois parties : le mât, la nacelle et le rotor.

## A. Constitution

1) *Le mât*: généralement en métal, supporte l'ensemble des équipements permettant de produire l'électricité (nacelle et rotor). Il est fixé sur une fondation implantée dans le sol, une lourde semelle en béton qui assure l'ancrage et la stabilité de l'éolienne. Le mât des éoliennes atteint aujourd'hui 80 m de haut pour les plus puissantes (exceptionnellement jusqu'à 100 m). Pourquoi les éoliennes sont-elles si haut perchées ? C'est parce que le vent souffle plus fort à quelques dizaines de mètres de hauteur, où il n'est pas perturbé par l'effet des obstacles : relief, arbres, maisons... Et la puissance fournie par une éolienne est proportionnelle au cube de la vitesse du vent.

2) *Le rotor*: est composé du nez et de l'hélice, qu'on désigne le plus souvent sous le nom de pales de l'éolienne, construits avec des technologies dérivées de l'aéronautique. L'hélice possède en général 3 pales, plus rarement 2. Les pales sont aujourd'hui faites de matériaux composites à la fois légers et assurant une rigidité et une résistance suffisantes : polyester renforcé de fibre de verre et/ou fibre de carbone. Leur longueur atteinte actuellement entre 30 et 55 mètres, soit un diamètre du rotor compris entre 60 et 110 mètres. Pourquoi de telles dimensions ? La puissance d'une éolienne est proportionnelle à la surface balayée par ses pales (un cercle), donc au carré de son diamètre rotor. Le rotor transforme l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique.

3) *La nacelle*: abrite les équipements qui produisent l'électricité à partir de la rotation de l'axe du rotor, qu'on appelle aussi « arbre ». Le transport de l'électricité produite dans la nacelle jusqu'au sol est assuré par des câbles électriques descendant à l'intérieur du mât de l'éolienne. Les éoliennes sont également dotées d'un système de supervision et de contrôle très performant, élaboré autour d'un calculateur qui permet notamment :

- d'orienter le rotor de l'éolienne perpendiculairement à la direction du vent ;
- de modifier l'angle d'incidence des pales par rapport au vent, afin de maximiser la récupération d'énergie.

Sous l'effet du vent, le rotor tourne. Dans la nacelle, l'arbre principal entraîne un alternateur qui produit l'électricité. La vitesse de rotation du rotor (de 12 à 15 tours/minute) doit être augmentée par un multiplicateur de vitesse jusqu'à environ 1 500 tours/minute, vitesse nécessaire au bon fonctionnement de l'alternateur.

Des convertisseurs électroniques de puissance ajustent la fréquence du courant produit par l'éolienne à celle du réseau électrique auquel elle est raccordée (50 Hz en Algérie), tout en permettant au rotor de l'éolienne de tourner à vitesse variable en fonction du vent. La tension de l'électricité produite par l'alternateur, de l'ordre de 600 à 1 000 volts, est ensuite élevée à travers un transformateur de puissance, situé dans la nacelle ou à l'intérieur du mât, jusqu'à un niveau de 10 ou 30 KV.

Ce niveau de tension permet de véhiculer l'électricité produite par chacune des éoliennes d'une centrale éolienne jusqu'au point de raccordement au réseau électrique public (en étude de cas, le réseau de

la direction de distribution MT de Constantine). La tension de l'électricité produite par la centrale peut alors être de nouveau transformée, en fonction du niveau de tension de raccordement de la centrale au réseau public.

## B. Types d'éoliennes

L'exploitation de l'énergie éolienne consiste à transformer le mouvement du vent en énergie mécanique. La longue maturation des technologies dans les années 70-80 a fait émerger deux types de machines :

1) *Les éoliennes à axe horizontal*: Pourvues d'une, deux ou trois pales, ce sont les éoliennes les plus utilisées aujourd'hui pour la production d'électricité en systèmes autonomes ou pour alimenter le réseau de distribution. En forme d'hélice, l'éolienne à axe horizontal utilise, comme les avions pour voler, la force de portance du vent. La hauteur de la nacelle permet de profiter de vents plus forts et plus constants.

2) *Les éoliennes à axe vertical*: Elles sont adaptées à tous les vents et ne nécessitent pas de dispositif d'orientation. Deux d'entre elles sont particulièrement remarquables. L'éolienne comporte principalement deux demi-cylindres dont les axes sont décalés l'un par rapport à l'autre. Comme les machines à aubes, elle utilise essentiellement la traînée pour tourner. Cette machine présente deux avantages : Elle est simple à fabriquer et elle démarre avec des vitesses de vent de l'ordre de 2 m/s.

Il y a autre base de partager les éoliennes, dépend la puissance :

- Petit puissance, inférieur 36 KW,
- Moyenne puissance, entre 36 et 250 KW,
- Grande puissance, supérieur 250 KW.

## C. Modélisation

Une éolienne se modélise principalement à partir de ses caractéristiques aérodynamique, mécanique et électrotechnique.

La puissance mécanique disponible sur l'arbre d'un aérogénérateur est :

$$P_m = \frac{1}{2} \cdot C_p(\lambda) \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot V_1^3 \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{\Omega_1 \cdot R}{V_1} \quad (2)$$

Avec,

$\Omega_1$  : La vitesse de rotation avant le multiplicateur.

Compte tenu du rapport du multiplicateur de vitesse  $K$ , la puissance mécanique  $P_{mg}$  disponible sur l'arbre du générateur électrique s'exprime par :

$$P_{mg} = \frac{1}{2} \cdot C_p \left( \frac{\Omega_2 \cdot R}{K \cdot V_1} \right) \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot V_1^3 \quad (3)$$

$R$  : Le rayon de l'aérogénérateur,

$\Omega_2$  : La vitesse de rotation après le multiplicateur.

Cette relation permet d'établir un ensemble de caractéristiques donnant la puissance disponible en

fonction de la vitesse de rotation du générateur pour différentes vitesses de vent.

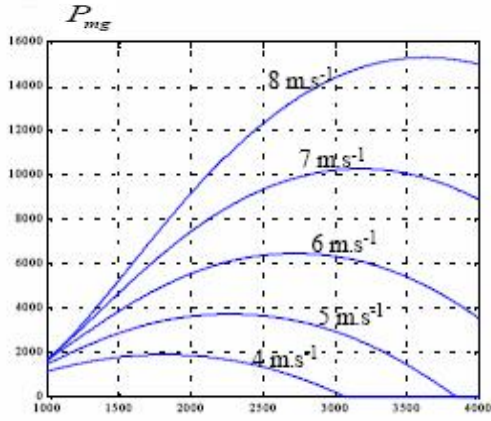


Fig.4. Puissance mécanique disponible en fonction de la vitesse du générateur pour différentes vitesses de vent.

### III. PROTECTION DE MAXIMUM DE COURANT

Elle est basée sur la variation de courant de chaque phase du câble ou ligne moyenne tension HTA, soit 30 KV ou 10 KV.

#### A. Plant de Protection

C'est l'organisation des systèmes de protection pour constituer un moyen de défense efficace face à des régimes d'incidents des réseaux électriques. Il a pour objectif d'assurer le plus économiquement possible la continuité de service et de préserver les éléments constituant les réseaux

#### B. Protection contre surcharge

C'est une protection contre les surcharges et les défauts en bout de ligne. Les relais à maximum de courant de phase doivent être réglés à une valeur de courant inférieure au plus faible courant de défaut susceptible de se manifester entre les phases, ce courant est relatif à un courant inférieur à 15 % du défaut biphasé se produisant en bout de ligne.

Le réglage du relais de protection ( $I_{rég\_1}$ ) est comme suite :

$$I_{rég\_1} \leq K_c \cdot I_{LT} \quad \text{Si } 0,85 I_{ccb} > K_c \cdot I_{LT} \quad (4)$$

$$I_{rég\_1} \leq 0,85 I_{ccb} \quad \text{Si } 0,85 I_{ccb} < K_c \cdot I_{LT} \quad (5)$$

Avec,

$I_{LT}$ : Courant de la limite thermique des conducteurs,

$K_c$ : Coefficient de surcharge admissible sur les conducteurs de la dorsale  $K=1,2$ ,

$I_{ccb}$ : Courant de court-circuit biphasé le plus loin.

$$I_{ccb} = \frac{U_n}{2 \times \sqrt{R_L^2 + (X_{HT} + X_T + X_L)^2}} \quad (6)$$

$X_{HT}$ : Impédance HT ramené en MT,

$$X_{HT} = \frac{U_n^2 (kV)}{S_{cc} (MVA)} \quad (7)$$

$S_{cc}$ : Puissance de court-circuit triphasé du réseau amont,

$U_n$ : Tension nominale HTA du transformateur.

$R_L, X_L$ : Résistance et réactance totale de conducteur,

$X_T$ : Impédance du transformateur HTB/HTA.

$$X_r = \frac{U_{cc}}{100} \times \frac{U_n^2}{S_n} \quad (8)$$

$S_n$ : Puissance apparente nominale du transformateur,  
 $U_n$ : Tension nominale au secondaire du transformateur HT/MT.

#### C. Protection contre les courts circuits

Il doit éliminer rapidement les courts-circuits de la ligne MT et son réglage doit être suffisamment élevé pour le rendre insensible aux défauts sur le réseau BT, le réglage du relais de protection ( $I_{rég\_2}$ ) est comme suite :

$$I_{rég\_1} < I_{rég\_2} < I_{ccb} \quad (9)$$

#### D. Chaîne principale de protection

Elle est composée d'un relais de protection et d'un transformateur de courant (TC) pour chaque phase et d'un organe de coupure qu'est le disjoncteur "Fig. 5".

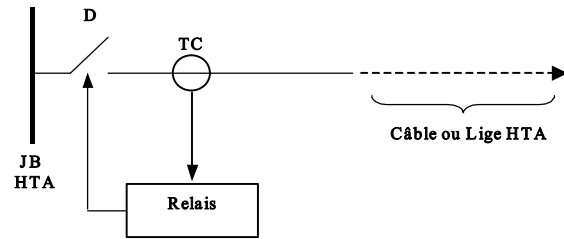


Fig.5. Chaîne unifilaire de la protection contre la surcharge.

La valeur de courant de réglage est proportionnelle au temps de déclenchement constant "Fig.6".

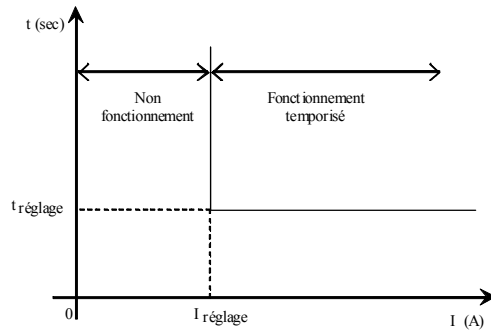


Fig.6. Caractéristique de déclenchement du disjoncteur.

Calcul à partir des mesures de courant dans les trois phases avec un TC par phase :

- Le courant résiduel est calculé par le relais de protection.
- La précision de la mesure est entachée d'erreurs dues à la somme des erreurs de précision des TC et de leur saturation pour des courants élevés.
- Le montage est plus simple que dans le cas précédent, mais la précision de mesure est inférieure.

### IV. MODÈLE, RÉGLAGE DE PROTECTION, ET EQUIPEMENTS D'ESSAIS

#### A. Modélisation de poste source 60/10 KV:

Le but de cet essai est de voir le comportement d'un réglage de courant phase lors d'un court circuit permanent entre les phases phases sur un départ

soutienne 10 kV relié sur un jeu de barre HTA au poste source MANSOURAH HTB/HTA (60/10 KV) "Fig. 6". Pour cela nous avons créés un court circuit au départ DJEBEL OUAHACHE, à 3.5 Km du jeu de barre HTA. Ce départ est protégé par un relais de protection numérique de maximum de courant phase marque ABB, type REF 543.

Le Poste MANSOURAH est alimenté par trois transformateurs HTB/HTA de 3x20 MVA à l'étage 10 KV, cet étage est alimenté par deux jeux de barre, le premier jeu de barre distribue l'énergie électrique vers les départs : EL KANTARA 4, 2000 LOGTS, COMPLEXE FRAY, ABRI FAMILIAL et EL KANTARA 2 et le deuxième jeu de barre alimenté les départs : EL KANTARA 1 et DJEBEL EL OUAHACHE et le troisième jeu de barre alimenté : CENTRE PEDAGOGIQUE, USINE TEXTILE et EL KANTARA 3.

### B. Le système de couplage :

Le générateur asynchrone est de plus en plus utilisé dans les systèmes de production éoliens. Le générateur asynchrone à double alimentation (MADA) est le mieux adapté pour les systèmes éoliens comparativement au générateur autonome qui sert à alimenter des endroits isolé ou bouclé avec réseaux MT. L'aérogénérateur (MADA) couplé au départ de distribution électrique moyenne tension 10 KV DJEBEL EL OUAHACHE qui alimenté à partir de eu de barre N° 3issus au poste MANSOURAH "Fig.8".par un disjoncteur de couplage, ce départ MT est très charger suit la courbe de charge "Fig. 9" qui relever en hiver 2009.

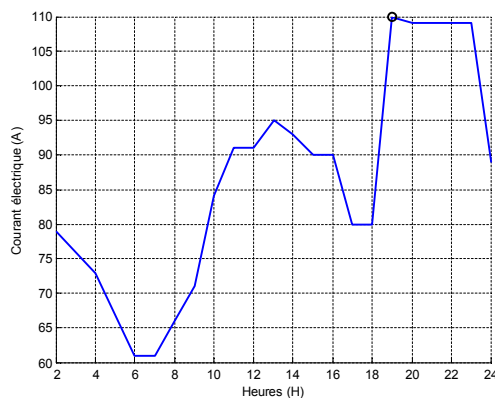


Fig.9. Courbe de charge du départ DJBEL EL OUAHACHE.

### C. Modélisation de l'aérogénérateur:

Nous avons choisir un aérogénérateur de marque Nordex, type : N80, avec un rotor de 80 m de diamètre et une puissance nominale de 2,5 MW, la Nordex est le modèle le plus compétitif pour les sites fortement ventés.

Ce type de N 80 est un modèle particulièrement éprouvé et fiable. Certifiée GL-1 (sites les plus ventés), cette éolienne à la fois puissante et très robuste est idéale pour les sites exposés à des vents forts ou turbulents " Fig. 10"et "Fig. 11".

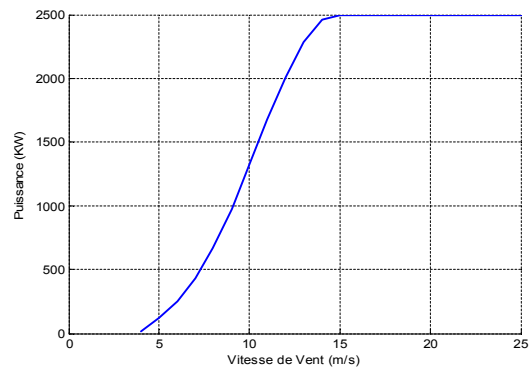


Fig. 10. Courbe de puissance en fonction de la vitesse.

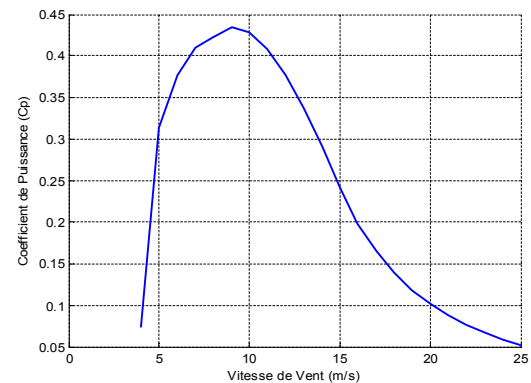


Fig. 11. Courbe de coefficient de puissance  $C_p$  en fonction de la vitesse de vent.

### D. Système de protection :

L'éolienne est équipée de plusieurs dispositifs de protection réseau :

Un relais de protection réseau, qui dispose d'une surveillance de sous/surtension, qui détecte l'augmentation et la diminution de fréquence et qui surveille le saut vectoriel.

Une protection contre les courts-circuits et les surcharges est réalisée par le commutateur principal.

- Le principe de fonctionnement ainsi que les valeurs d'amorce peuvent être extraits du « Plan de protection réseau ».
- En cas d'un fonctionnement en dehors des paramètres limites, l'éolienne est arrêtée et séparée du réseau électrique par le système de contrôle.

### E. Réglage de relais de protection :

Le seuil de réglage du relais de protection de maximum de courant phase de disjoncteur de couplage comme suit :

TABLE I  
REGLAGES DE PROTECTION S PROPOSE

PROTECTION	COURANT (A)	TEMPS (SEC)
SURCHARGE	300	0,80
COURT-CIRCUIT	1000	0,05

### F. Equipements d'essais:

1) *Caisse d'injection primaire:* Cet essai est réalisé par une caisse d'injection primaire type (CPC 100) du constructeur OMICRON. Le CPC 100 fait partie d'un système de test, il est conçu pour les essais des

appareils de protection et de mesure HTA, Il est piloté par un micro-ordinateur qui permet de contrôler le fonctionnement, les caractéristiques de mise en route, et le déclenchement des différents dispositifs de protection.

2) *Relais de protection*: Ce relais de protection pour arrivées et départs HTA, REF 543 fait partie du système d'automatisation de poste électrique de la société ABB. Il utilise la technologie moderne appliquée aussi bien dans les solutions logicielles que matérielles. La performance du terminal est élevée grâce à l'utilisation de l'architecture de multiprocesseur. Le traitement numérique des signaux avec une unité centrale puissante et la gestion d'entrées/sorties (E/S) distribuée facilitent l'exécution des opérations parallèles et améliorent la précision et les temps de réponse. L'interface utilisateur IHM dotée d'un écran à cristaux liquides à vues multiples permet l'utilisation fiable et aisée du terminal REF 543 Il enseigne l'opérateur à travers les différentes procédures du système

3) *Disjoncteurs HTA à gaz SF6*: Le soufflage de l'arc résulte de la compression du gaz SF6 contenu dans un volume de coupure, Cette compression peut s'effectuer sous l'action d'un piston solidaire du contact mobile ou moyennant des principes à énergie de manœuvre réduite, pouvant être fournie par une commande à ressort ou une commande à gaz dynamique. Une autre alternative consiste à l'utilisation de l'énergie importante de l'arc, pour générer le soufflage thermique nécessaire à la coupure du courant.

4) *Les transformateurs de courant phase*: Doivent transmettre une information (un signal électrique) de chaque phase avec une précision garantie, et assurer l'isolement galvanique entre le circuit primaire et le relais "Fig.12". La fonction d'un TC est de fournir à son secondaire ( $I_s$ ) un courant proportionnel au courant primaire ( $I_p$ ) mesuré, le rapport est 300/1 A.

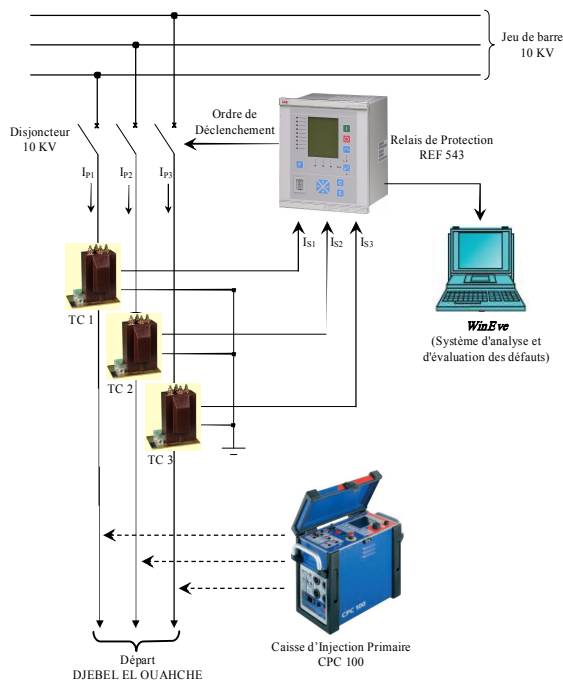


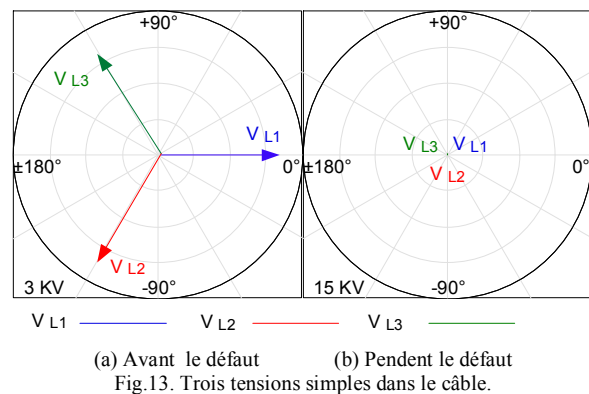
Fig.12 - Schémas globale de test.

## V. RÉSULTATS DES ESSAIS, COMMENTAIRE ET DISCUSSION

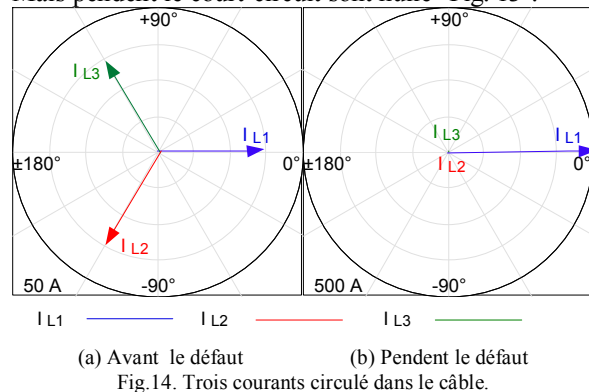
Pour vérifier le comportement de ce système de protection qui installer et les réglages de protection choisir, nous avons crié un court-circuit triphasés isoler. Les résultats des essais suivants ont été obtenus à partir du logiciel *WinEve*, Le système d'évaluation et d'analyse des défauts *WinEve* permet de prendre sans tarder les mesures nécessaires afin de réduire les dommages dus à l'apparition d'un défaut dans les réseaux de transport et de distribution de l'énergie électrique ou dans les centres de production de l'énergie électrique. Le logiciel *WinEve* réduit les durées d'arrêt sur les lignes de distribution et de transport et facilite le rétablissement rapide de l'approvisionnement en énergie électrique. Lorsqu'un fichier de perturbographie est rapatrié d'un perturbographe (appareils dédiés ou dispositifs de protection), le système *WinEve* peut avoir été configuré de façon à évaluer et analyser automatiquement le fichier reçu.

Pour cette étude de cas réel, nous avons préférés le diagramme d'affichage sous forme d'image de pointeur afin de bien visualiser le déphasage entre les composantes pour détecter le type de défaut.

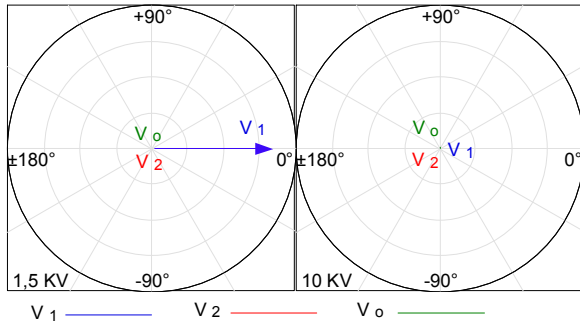
### A. Résultats des essais :



Avant le court-circuit les tensions simples sont équilibrées en module égal 5,780 kV et déphasées d'un angle de 120° (système triphasés équilibrés), Mais pendant le court-circuit sont nulle "Fig. 13".

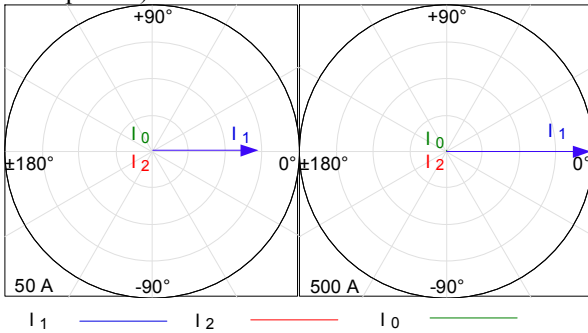


Les courants de ligne forment un système triphasé équilibré en module égale à 100 A et déphasé chaque phase par un angle de 120° (système triphasés équilibrés), par ailleurs les trois courants dans les phases est égale le courant de court-circuit avec un déphase de 120° "Fig. 14".



(a) Avant le défaut (b) Pendant le défaut  
Fig.15. Les tensions Direct, Inverse et Homopolaire dans le câble.

Suite la "Fig. 15", nous avons remarquerons qu'il y a une seule tension existe c'est la tension direct égale la tension simple dans les phases du câble avec un angle zéro, par contre pendant le court-circuit les trois composante de tension (direct, inverse et homopolaire) son nul.



(a) Avant le défaut (b) Pendant le défaut  
Fig.16. Les courants Direct, Inverse et Homopolaire dans le câble.

A partir de la "Fig. 16", nous avons remarquerons qu'il y a une seule courant existe le direct qui égale la le courant électrique dans les phases avec un angle nul, par contre pendant le court-circuit les composantes inverse et homopolaire sont nul, mais le courant directe est existe avec une valeur très élevé.

### B. Résultats de calcul suite la norme CEI 60909 :

Pour valider les résultats des essais pratiques obtenus précédemment à partir du logiciel WinEve d'ABB, nous avons utilisés le logiciel MATLAB pour programmés les équations de court-circuit obtenues à partir de la Commission Electrotechnique International (CEI) numéro 60909. Ces résultats analytiques obtenus (qui sont les mêmes qu'obtenus précédemment lors de essais) sont résumés dans le tableau suivant :

TABLE II - LES RESULTATS DE CALCUL.

	Avant le court-circuit	Après le court-circuit
$V_{L1} (kV)$	5,7773	0
$V_{L2} (kV)$	5,7773	0
$V_{L3} (kV)$	5,7773	0
$I_{L1} (A)$	150	2014,4
$I_{L2} (A)$	150	2014,4
$I_{L3} (A)$	150	2014,4
$V_1 (V)$	5,7773	0

$V_2 (V)$	0	0
$V_0 (V)$	0	0
$I_1 (A)$	150	2014,4
$I_2 (A)$	0	0
$I_0 (A)$	0	0

## VI. CONCLUSION

Le couplage d'un aérogénérateur de 2,5 MW entraîne une augmentation des courants de court-circuit en réseau de distribution moyenne tension 10 KV. Cette augmentation ne doit pas entraîner de dépassement du courant de court-circuit au-delà de la limite assignée pour les matériels MT du poste HT/MT et du réseau de distribution.

Le bon choix des réglages de la protection contre les défauts à la terre assure à la fois une bonne sécurité des personnes contre les électrisations et des biens contre les effets destructif des courants forts sur les câbles, lignes, jeux de barres, ... etc., ainsi qu'une bonne continuité de service globale du réseau HTA en isolant la petite partie en défaut du réseau à afin d'en préserver le fonctionnement.

Cependant ces réglages doivent s'intégrer dans un plan de protection des réseaux de distribution HTA en respectant la sélectivité chronométrique et ampérométrique de ce plan.

## APPARENTIX

### A. Caractéristiques des transformateurs HT/MT :

Marque : TUR Dresden RDA  
Type : TDLF 40 000-60 M.Cu  
Norme: IEC 76  
Puissance à l'étage 10 KV: 20 MVA  
Tension de court-circuit : 4,1 %  
Courant nominale : 787 A  
Symbole de couplage : YN.d.11

### B. Caractéristiques de départ 10 KV:

Tension composée nominale :  $U = 10 \text{ kV}$ ,  
Fréquence nominale :  $f = 50 \text{ Hz}$ ,  
Courant maximal à l'état sain :  $I = 177 \text{ A}$ ,  
Courant maximal à l'état secours :  $I_{\text{sec}} = 220 \text{ A}$ ,  
Longueur souterraines :  $L_S = 11158 \text{ m}$ ,  
Longueur aérienne :  $L_A = 0 \text{ m}$ ,  
Section :  $S = 185 \text{ mm}^2$ , Matériaux : Aluminium,  
Résistance en courant alternatif à  $90^\circ\text{C}$  :  $0,211 \Omega/\text{km}$ ,  
Inductance:  $0,111 \Omega/\text{km}$ ,  
Capacité :  $0,200 \mu\text{F}/\text{km}$ .

### C. Disjoncteur de Couplage MT 10 KV:

Marque : Merlin Gerin,  
Type : Fluarc FB 4.80,  
Tension Nominale: 36 KV,  
Tension de tenue à 50 Hz : 70 KV,  
Tension de tenue sous choc : 170 KV,  
Courant nominale : 400 A,  
Pouvoir de coupure : 8 KA,  
Tension de Commande: 127 V.

#### D. Caractéristiques de l'Aérogénérateurs :

Marque : Nordex,  
Type : N80  
Puissance : 2,5 Mégawatt

#### Rotor:

Nombre des pales : 3  
Vitesse de rotation : 10,8 à 18,9 tr/min  
Diamètre du rotor : 80 m  
Puissance nominale : environ de 15 m/s  
Type de régulateur : Pitch  
Vent de démarrage : environ de 3 m/s  
I rotor = 630 A

#### Convertisseur:

Le convertisseur est disposé entre le rotor et le réseau et il est équipé d'un circuit intermédiaire de tension continue et de la technologie IGBT.

Type : Engrenage planétaire à trois gradins  
Puissance apparente : 750 KVA  
Tension auxiliaire :  $3 \times 400 \text{ V}/25 \text{ A}/50 \text{ Hz}$   
Tension de sortie  
- stator :  $3 \times 660 \text{ V}$   
- rotor : Tension à MLI

Rapport de transmission : 1 / 68,7

Palier de l'arbre : Roulement à rouleaux cylindriques

#### Génératrice:

Puissance nominale : 2500 kW  
Tension nominale :  $3 \times 660 \text{ V}$   
Type : Génératrice Asynchrone double alimentation avec échangeur de refroidissement  
Vitesse de rotation : 740-1.300 tr/min

## X. REFERENCES

- [1] T. Ackermann, "Wind Energy Technology and Current Status", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 4, pp. 315-374, 2000.
- [2] N. Hatziazyriou, "Wind Power Development in Europe", *Proc. IEEE*, Vol. 89, N°1, pp. 1765 – 1782, 2001.
- [3] R. Belhomme, "Wind Power Developments in France", *IEEE Power Engineering Review*, Vol. 22, N°10, pp. 21 - 24, 2002.
- [4] J.T. Tester, "Combining Renewable Energy and Design-for-Manufacturing Research in an Undergraduate Research Project", in *Proceedings of the 2003 ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*, Vol. 3, pp. S1E-10 - 15, 2003.
- [5] R. Pecan, "Renewable Energy Based Capstone Design Applications for an Undergraduate Engineering Technology Curriculum", in *Proceedings of the 2003 ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*, Vol. 3, pp. S1E-21 - 27, 2003.
- [6] G.E. Piper, "A Systems Engineering Approach to Teaching Energy", in *Proceedings of the 2003 Southeastern Symposium on System Theory*, pp. 322 – 325, 2003.
- [7] W. Daems, "PeopleMover: An Example of Interdisciplinary Project-Based Education in Electrical Engineering", *IEEE Trans. Education*, Vol. 46, N°1, pp. 157 - 167, 2003.
- [8] J.F Walker and N. Jenkins, *Wind Energy Technology*, Chichester, UK: Wiley, 1997.
- [9] R. Gasch, *Wind Turbine Generators*, USA - MIT Press, 1982.
- [10] J.G. Sloomweg, "General Model for Representing Variable Speed Wind Turbines in Power System Dynamics Simulations", *IEEE Trans. Power Systems*, Vol. 18, N°1, pp. 114 - 151, 2003.
- [11] L. Mihet-Popa, "Wind Turbine Generator Modeling and Simulation where Rotational Speed is the Controlled Variable", *IEEE Trans. Industry Applications*, Vol. 40, N°1, pp. 3 - 10, 2004.
- [12] E. O. Schweitzer, "A Review of Impedance-Based Fault Locating Experience", *Proceedings of the 15th Annual Western Protective Relay Conference*, Spokane, WA, 24- 27 October, 1988.
- [13] C. L. Fortescue, "Method of symmetrical Coordinates Applied to the Solution of Polyphase Networks", *Trans. AIEE*, pt. II, Vol. 37, pp: 1027-1140, 1918.