

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR

ELECTROTECHNIQUE

SESSION 2014

ÉPREUVE E4.2

EXPLOITATION D'UN PARC ÉOLIEN

DOSSIER TECHNIQUE

Sommaire

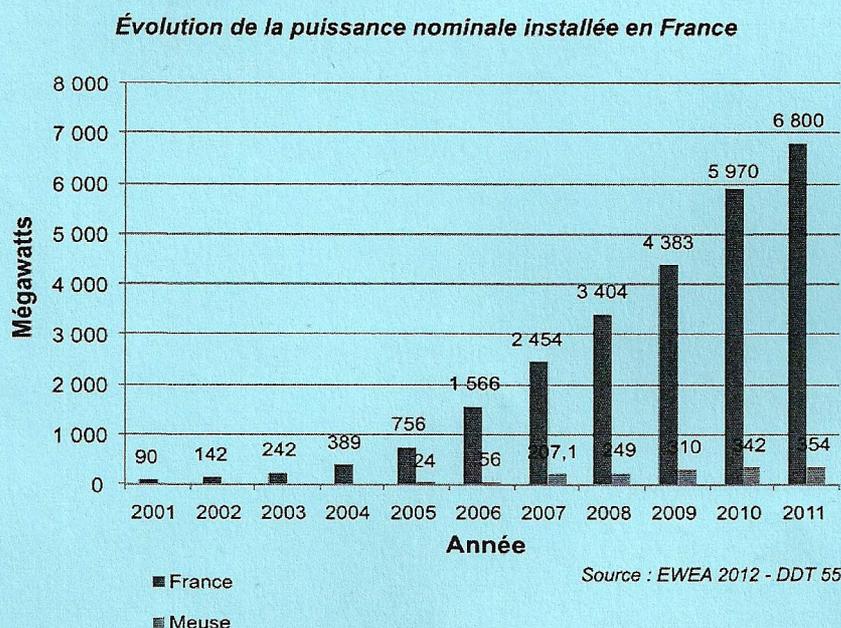
1. **Présentation générale**
2. **Raccordement du parc éolien**
3. **Problématique**
4. **Objectifs**

IMPLANTATION ET EXPLOITATION D'UN PARC ÉOLIEN

1. Présentation générale

L'amélioration de l'efficacité énergétique et l'exploitation croissante des énergies renouvelables (EnR) constituent les deux axes principaux de la transition énergétique que la France met en œuvre pour faire face à la demande croissante en énergie. Un des objectifs du Grenelle de l'environnement est de porter à 23 % la part des EnR dans la consommation d'énergie finale d'ici à 2020.

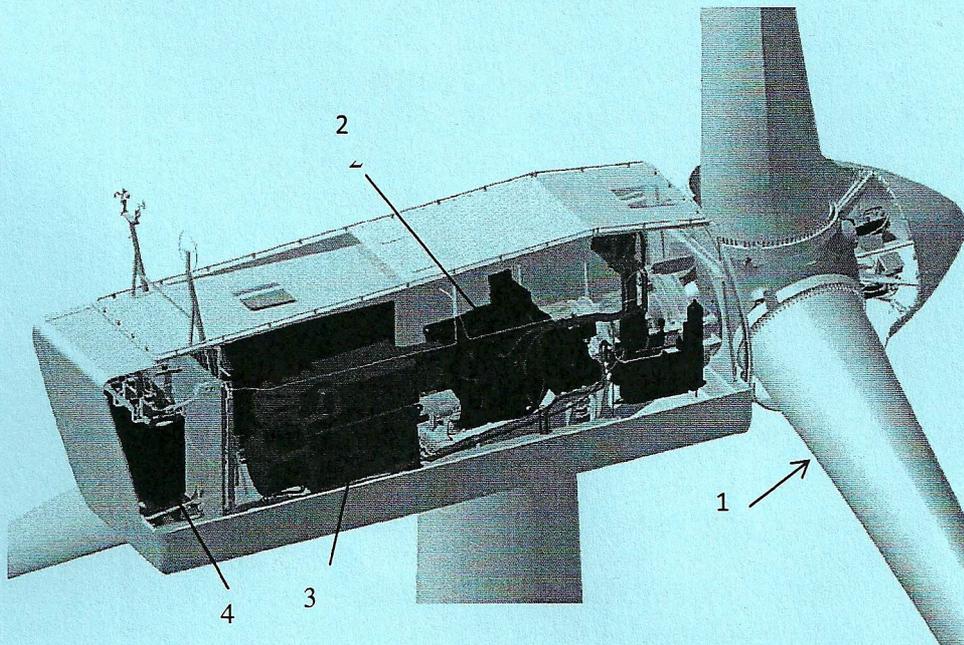
La production d'électricité à partir de l'énergie éolienne, encouragée par la politique énergétique des différents gouvernements, ne cesse de croître depuis ces dix dernières années comme en témoigne le graphique suivant :



Le département de la Meuse présente selon le Schéma Régional Eolien (SRE) de Lorraine des conditions favorables à l'implantation d'éoliennes. **La commune de « Les Souhesmes-Rampont »** fait partie d'une des dix-huit Zones de Développement Eolien (ZDE) de la région, condition nécessaire pour bénéficier des tarifs de l'obligation d'achat garantie pendant 15 ans **par le gestionnaire du réseau électrique**. Le prix de rachat est actuellement **fixé à 8,2 centimes d'euros par kWh (8,2 c€/kWh)**, il est indexé sur l'inflation.

La société « Iberdrola Renewable » a obtenu le permis de construire autorisant l'implantation d'un parc de six éoliennes sur le site dit de « Rampont ».

Le fonctionnement d'une éolienne se décompose selon les étapes décrites dans le tableau suivant :



Etapes*	Remarques
Conversion de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique de rotation par l'intermédiaire des pales (1) de la turbine.	La plupart des éoliennes possèdent un mécanisme d'orientation des pales (« pitch control ») permettant de modifier la force de portance créée par le vent et donc le couple transmis sur l'arbre. Ce dispositif est utilisé soit pour optimiser le rendement soit pour limiter la puissance convertie lorsque le vent devient trop fort.
Adaptation de la vitesse de l'arbre dit lent de la turbine à l'arbre rapide de la génératrice (2).	Les éoliennes de grand diamètre tournent à des vitesses faibles qui nécessitent un multiplicateur mécanique lorsque la génératrice associée est de type asynchrone. Une attaque directe sans multiplicateur est possible avec les génératrices de type synchrone.
Conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique par la génératrice (3).	Les génératrices utilisées sont soit de type synchrone soit de type asynchrone. Des convertisseurs électriques de puissance peuvent être utilisés pour contrôler la vitesse de l'éolienne afin d'optimiser le transfert de puissance.
Adaptation de l'énergie électrique par le transformateur de raccordement au réseau (4).	Les valeurs efficaces nominales des tensions entre phases des génératrices sont généralement de 690V . Un transformateur élévateur est donc nécessaire pour les raccorder au réseau de distribution HTA (20kV).

* Les chiffres entre parenthèses correspondent aux annotations du schéma

2. Raccordement du parc éolien :

Les six éoliennes du parc de Rampont sont raccordées à un réseau haute tension (HTA) 20 kV relié à un poste source de 63 kV situé à quelques kilomètres du site. Un schéma unifilaire du poste de livraison et de comptage du parc éolien est fourni à la page 5/8. Deux antennes HTA 20 kV permettent le raccordement de trois éoliennes d'une part et des trois autres éoliennes d'autre part (non indiqué sur le schéma).

Chacune des éoliennes dispose en pied de mat d'une cellule HTA pour leur raccordement. Un transformateur BT/HTA (voir ses spécifications techniques page 7/8) situé dans la nacelle permet l'adaptation des tensions entre la génératrice (690 V entre phases) et le réseau HTA.

La page 6/8 de ce dossier présente le schéma de puissance unifilaire de raccordement BT d'une éolienne.

3. Problématique

Le parc éolien du site de Rampont est en exploitation depuis maintenant trois ans. Pendant sa phase de conception, l'enjeu principal était d'optimiser l'implantation des éoliennes de manière à assurer un retour sur investissement le plus rapide possible. L'exploitant du site rencontre cependant des difficultés suite à des défauts sur des matériels qui conduisent à l'arrêt de la production électrique d'une ou de plusieurs éoliennes. Les deux principaux défauts relevés concernent des pannes du relais de surveillance de la cellule haute tension de protection du transformateur HTA/BT et des déclenchements du disjoncteur général basse tension (BT) de chaque éolienne. Afin de réduire les périodes d'indisponibilité de chaque éolienne du parc, l'exploitant a confié une étude à un bureau d'ingénierie électrique. Ce dernier a diagnostiqué deux problèmes : les appareils de protection dont le disjoncteur général BT sont soumis à des températures élevées ; des surtensions sont à l'origine des pannes du relais de surveillance de la cellule haute tension.

La page 8/8 dresse la liste de ces deux types de panne sur une période de 15 mois. Ces arrêts de production représentent pour l'exploitant du site des pertes financières importantes.

4. Objectifs

- **Partie 1** Vérifier si le disjoncteur général BT peut fonctionner sous des températures plus élevées que celles pour lequel il a été initialement choisi. Rechercher, le cas échéant, les références d'un nouveau disjoncteur.
- **Partie 2** Choisir les dispositifs de parafoudres sur le réseau BT de chaque éolienne pour protéger les équipements.
- **Partie 3** Rédiger la fiche de consignation/déconsignation des cellules HTA du filtre passif.
- **Partie 4** Estimer les bénéfices engendrés par les choix de l'exploitant du site.

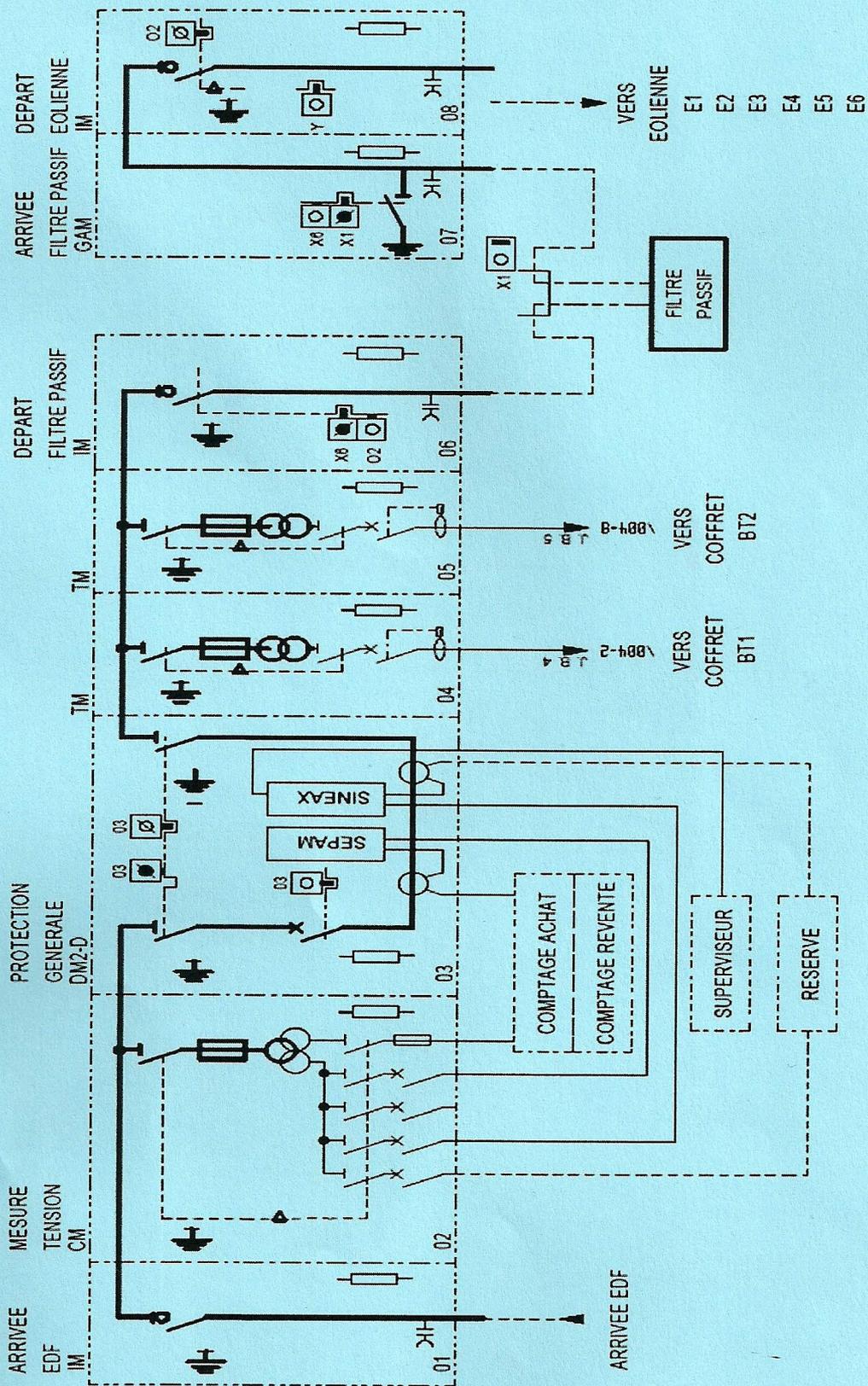
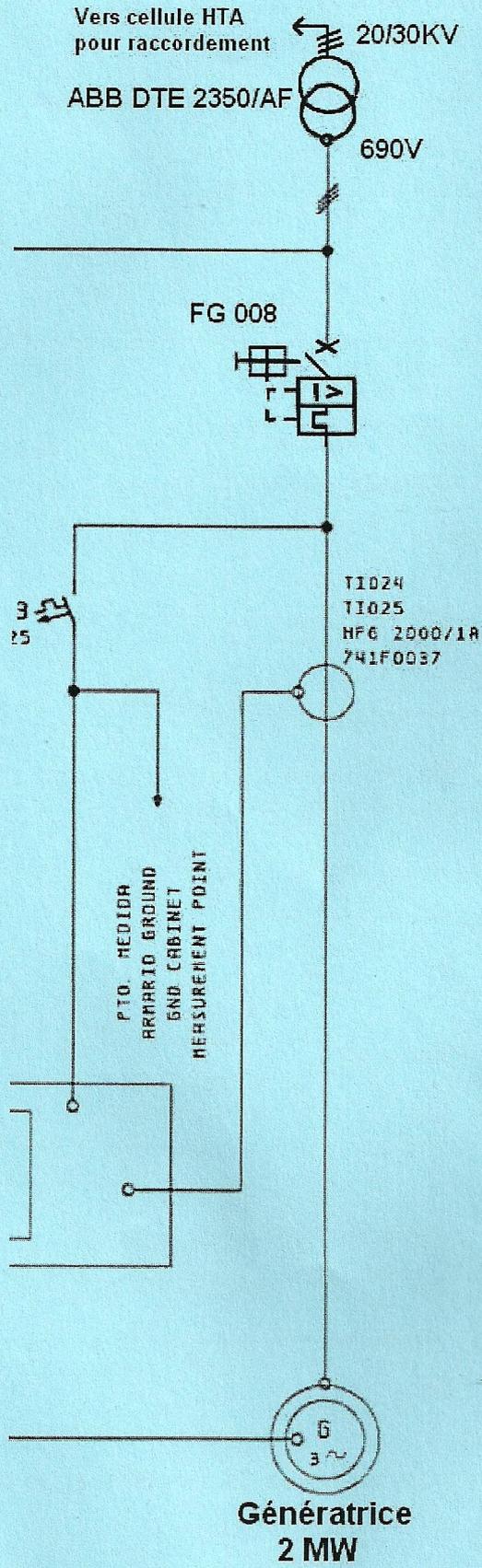


Schéma unifilaire du poste de livraison et de comptage du parc éolien

Schéma partiel de raccordement de l'éolienne N°6





Transformateur de distribution
Spécifications Techniques
ABB – Gamesa Eolica
DTE 2350/AF

Caractéristiques	
Nom du produit	Transformateur de type sec enrobé moulé
Application	Distribution
Pays d'origine	Espagne
Puissance	[kVA] 2 350
Tension primaire	[V] 20 000
Courant primaire	[A] 67,8
Tension secondaire à vide	[V] 690
Courant secondaire	[A] 1966,3
Niveau d'isolation au secondaire	[kV] LI - / AC 3 / Um 1,1
Fréquence	[Hz] 50
Nombre de phases	3
Couplage	Dyn11
Bornes de raccordement (HT/BT)	Par le haut/Par le haut
Température ambiante - Max./Mensuel/moyenne annuelle	°C 40 / 30 / 20
Température d'échauffement moyenne maximum (HT/BT)	[K/K] 100 / 100
Environnement, Climatique, Feu Classe	E2, C1, F1
Classe de température (HT/BT)	F / F
Altitude (a.s.l.)	[m] <1000
Localisation géographique	Intérieur
Valeurs garanties	
Normes	CEI 60076-11
Tension de court-circuit (ou impédance %)	[%] 9,83 (CEI 60076-11 Tol.)
Perte à vide, Po	[W] 2780 (CEI 60076-11 Tol.)
Pertes en charge à 75	[W] 18700 (CEI 60076-11 Tol.)
Pertes en charge, Pk à 120	[W] 21000 (CEI 60076-11 Tol.)
Niveau de bruit Lwa	[dB] 74
Valeurs préliminaires IP31 (IP00)	
Longueur	[mm] 2690
Largeur	[mm] 1800
Hauteur (approx.)	[mm] 3200
Entraxe entre les galets	[mm] 1080
Poids total	[kg] 4250
Type de design	
Refroidissement	AN
Nature du bobinage côté primaire	Al
Nature du bobinage secondaire	Al
Nature du bobinage (HT/BT)	encapsulé/Imprégné
Caractéristiques standard /Accessoires	
Bornes de terre	
Relais de contrôle température type T119 DIN (livré séparément)	
Sondes de température PTC 130/150°C	
Plaque signalétique standard (Français)	
Galets bi-directionnels	
Régleur hors charge côté primaire	
Documentation (French)	
Enveloppe standard (IP31), RAL7035, Epaisseur: 70 µm, sortie des câbles HT et BT par le haut, cabine équipée de panneaux HT et BT boulonnés conformes C13 100 (sans système de verrouillage, en option sur demande)	

Spécifications techniques du transformateur de distribution

Précision : un transformateur étant réversible, le primaire et le secondaire dépendent de l'usage. Par convention, on considère, en sciences physiques, que le transfert d'énergie va du primaire vers le secondaire. Le transformateur de distribution utilisé dans chaque nacelle des éoliennes est élévateur et le sens de l'énergie va de la basse tension (BT) vers la haute tension (HT). Les spécifications techniques du constructeur ABB, indiquées ci-dessus, ne tiennent pas compte de cette convention.

Horodatage des arrêts de l'éolienne n° 6

Observation sur la période allant du 01/02/2011 au 31/04/2012

	Dates	Origine de l'arrêt	Jours d'arrêt	Jours d'arrêt
Arrêt	22/02/2011 16:20:09	Défaut relais de surveillance	0,98	
Redémarrage	23/02/2011 15:50:00		Total cumulé : 0,98	
Arrêt	25/02/2011 09:09:06	Défaut relais de surveillance	1,07	
Redémarrage	27/02/2011 10:45:00		Total cumulé : 2,05	
Arrêt	03/03/2011 17:00:00	Défaut relais de surveillance	0,66	
Redémarrage	04/03/2011 08:50:00		Total cumulé : 2,71	
Arrêt	16/03/2011 14:59:30	Défaut relais de surveillance	2,81	
Redémarrage	19/03/2011 10:30:00		Total cumulé : 5,52	
Arrêt	15/04/2011 13:08:16	Défaut relais de surveillance	1,06	
Redémarrage	16/04/2011 14:30:00		Total cumulé : 6,58	
Arrêt	10/07/2011 06:12:09	Défaut disjoncteur général		0,34
Redémarrage	10/07/2011 14:15:00		Total cumulé : 0,34	
Arrêt	18/07/2011 09:25:00	Défaut disjoncteur général		0,23
Redémarrage	18/07/2011 15:00:00		Total cumulé : 0,57	
Arrêt	27/07/2011 12:00:00	Défaut relais de surveillance	1,16	
Redémarrage	28/07/2011 15:50:00		Total cumulé : 7,74	
Arrêt	27/08/2011 12:00:29	Défaut relais de surveillance	2,76	
Redémarrage	30/08/2011 15:30:00		Total cumulé : 10,5	
Arrêt	17/10/2011 11:09:09	Défaut disjoncteur général		3,07
Redémarrage	20/10/2011 12:53:00		Total cumulé : 3,64	
Arrêt	26/01/2012 22:00:34	Défaut relais de surveillance	0,26	
Redémarrage	27/01/2012 12:45:00		Total cumulé : 10,76	
Arrêt	30/01/2012 06:29:52	Défaut disjoncteur général		0,61
Redémarrage	30/01/2012 12:45:00		Total cumulé : 4,25	
Arrêt	23/02/2012 19:55:29	Défaut relais de surveillance	1,8	
Redémarrage	25/02/2012 15:07:00		Total cumulé : 12,56	
Arrêt	28/03/2012 18:52:18	Défaut relais de surveillance	0,7	
Redémarrage	29/03/2012 11:45:00		Total cumulé : 13,26	
Arrêt	15/04/2012 20:35:00	Défaut disjoncteur général		1
Redémarrage	16/04/2012 20:45:00		Total cumulé : 5,25	

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

ELECTROTECHNIQUE

SESSION 2014

ÉPREUVE E4.2

Implantation et exploitation

d'un parc éolien

DOSSIER QUESTIONNEMENT

Le questionnaire comporte 4 parties :

- **Partie 1 : Analyse du problème en lien avec le disjoncteur**
- **Partie 2 : Choix et installation de parafoudres sur le réseau BT d'une éolienne**
- **Partie 3 : Rédaction de la fiche de consignation/déconsignation des cellules HTA du filtre passif**
- **Partie 4 : Estimation des bénéfices consécutifs au choix de l'exploitant du site**

Les 4 parties sont indépendantes.

Il est impératif de débiter par la lecture du dossier technique.

PARTIE 1 : Analyse du problème en lien avec le disjoncteur

On constate de nombreux arrêts de production. Le bureau d'ingénierie a observé que le disjoncteur général BT était placé dans un environnement soumis à des températures élevées. *Il convient de s'intéresser aux conditions de fonctionnement de ce disjoncteur pour procéder éventuellement à son remplacement.*

Chaque éolienne est raccordée au réseau HTA via un transformateur élévateur triphasé ABB DTE 2350/AF. Un disjoncteur ABB Emax est inséré entre la génératrice et le transformateur. La génératrice, dans les conditions nominales, impose une tension de 690V entre phases.

- 1.1. A partir du schéma fourni dans le **dossier technique** page 6/8, identifier le repère de ce disjoncteur.
- 1.2. Compléter le tableau fourni dans le **dossier réponses** page 2/8 à partir des indications données dans le **dossier technique** page 7/8.
- 1.3. Retrouver, par un calcul sur la copie, la valeur du courant nominal en ligne I_{2n} au secondaire du transformateur élévateur.

*Le disjoncteur actuel situé entre le transformateur et la génératrice a pour référence ABB Emax E2B. Son courant ininterrompu assigné à 40° a pour valeur 2000 A, voir **document ressources** page 3/10. Il est débrouachable sur chariot avec prises arrière verticales.*

Ce disjoncteur est prévu pour fonctionner sans déclassement jusqu'à une température ambiante de 40°C. Un technicien a cependant mesuré des températures voisines de 55°C dans l'armoire où se trouve le disjoncteur.

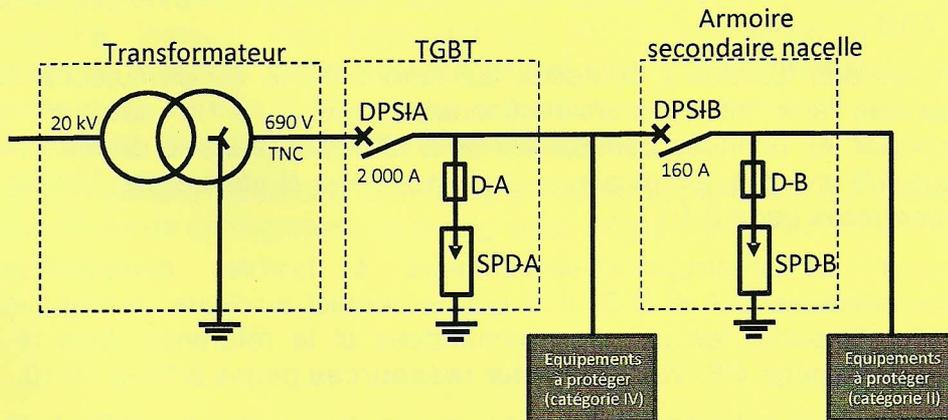
- 1.4. Compléter le **document réponses** page 2/8 à partir du **dossier ressources** pages 3/10 et 4/10.
- 1.5. Justifier que le disjoncteur avant modification ne convient pas dans les conditions de fonctionnement exigées.

Il convient désormais de rechercher une nouvelle référence pour remplacer le disjoncteur existant.

- 1.6. Compléter le tableau fourni dans le **dossier réponses** page 2/8. Les données collectées permettront de calculer la valeur efficace du courant de court-circuit présumé I_{k3max} apparaissant aux bornes du disjoncteur. *Ce calcul, question suivante, sera effectué à partir de la norme UTE C 15-500, voir **dossier ressources** page 2/10.*
- 1.7. Calculer puis indiquer sur votre copie la valeur I_{k3max} .
- 1.8. Proposer, en la justifiant, une référence ABB Emax d'un disjoncteur capable de répondre aux conditions de fonctionnement exigées.

PARTIE 2 : Choix et installation de parafoudres sur le réseau BT d'une éolienne

Des surtensions sont à l'origine des pannes du relais de surveillance de la cellule haute tension. Par ailleurs, la foudre peut endommager l'installation dans la nacelle. Le bureau d'ingénierie électrique a fait l'hypothèse qu'une protection par des parafoudres pourrait régler les deux problèmes. L'étude des risques d'impact a conduit à choisir un parafoudre de type 1 pour le TGBT et un parafoudre de type 2 pour l'armoire secondaire nacelle.



DPSI : Dispositif de Protection contre les Surtensions

D : Déconnecteur associé au SPD (fusible)

SPD : système de protection contre la foudre (Surge Protection Device)

Les caractéristiques d'un parafoudre sont indiquées dans le **dossier ressources** page 5/10. **Les niveaux d'exigences retenus** par le bureau d'étude sont les suivants :

- le parafoudre SPD-A devra supporter la tension admissible U_c , un courant de choc d'au moins 20kA. Il devra permettre d'assurer un niveau de protection tant que la valeur instantanée de la tension aux bornes du parafoudre restera inférieure à 2000V. Le parafoudre SPD-A sera muni d'un contact de télésignalisation.
- le parafoudre SPD-B devra supporter la tension admissible U_c , un courant nominal de décharge supérieur à 15kA. Il devra permettre d'assurer un niveau de protection tant que la valeur instantanée de la tension aux bornes du parafoudre ne sera pas supérieure à 2000V.

2.1. Le schéma de liaison à la terre (SLT) dans la nacelle est un TN-C, voir le **dossier ressources** page 5/10. Indiquer la tension d'utilisation maximale U_c en régime permanent que devront supporter les parafoudres SPD-A ou SPD-B.

- 2.2. Choisir puis reporter les références des parafoudres sur la page 3/8 du **dossier réponses**. Préciser leurs caractéristiques principales par rapport *aux niveaux d'exigences retenus par le bureau d'étude* (**dossier questionnement** page 3/6). Voir le **dossier ressources** pages 6/10 et 7/10.

Les déconnecteurs D-A et D-B à choisir se composent respectivement d'un interrupteur-sectionneur et de trois fusibles.

- 2.3. Déterminer les calibres et les types des fusibles des déconnecteurs D-A et D-B associés respectivement aux parafoudres SPD-A et SPD-B. Le temps de réponse t_a du fusible D-A ne devra pas excéder 200 ms. Reporter les résultats dans le **dossier réponses** page 3/8. Voir le **dossier ressources** pages 6/10 et 7/10.
- 2.4. Choisir des fusibles à couteaux qui seront munis de percuteurs. Ils seront associés aux interrupteurs-sectionneurs choisis à la question suivante. Reporter les données demandées et la référence dans le **dossier réponses** page 4/8 en indiquant plusieurs choix possibles si nécessaire. Voir le **dossier ressources** page 8/10.
- 2.5. Choisir les interrupteurs-sectionneurs à fusibles correspondant aux déconnecteurs D-A et D-B ainsi que le contact auxiliaire de signalisation de fusion. Reporter les données demandées et la référence dans le **dossier réponses** page 4/8. Voir le **dossier ressources** pages 9/10 et 10/10.
- 2.6. Compléter le schéma de mise en œuvre du parafoudre SPD-A et de son déconnecteur D-A sur le **dossier réponses** page 4/8. Le choix des contacts, raccordés aux entrées de l'automate, peut être « normalement ouvert (NO) » ou « normalement fermé (NF) ». Vous justifierez votre choix sur votre copie.

PARTIE 3 : Rédaction de la fiche de consignation/déconsignation des cellules HTA du filtre passif

Un technicien a signalé l'absence de procédure claire sur la fiche de consignation/déconsignation pour accéder au filtre passif du poste de livraison HTA. Le bureau d'étude doit établir une nouvelle fiche de consignation/déconsignation des cellules du réseau HTA pour intervenir en sécurité et réduire les temps d'intervention.

- 3.1. Compléter, sur le **dossier réponses** page 6/8, la fiche de *consignation/déconsignation* des trois cellules PLD-1, PLD-2 et Départ éolienne. Indiquer très clairement par un verbe d'action la manœuvre à effectuer, le repère de l'organe manœuvré ainsi que le repère de la clé utilisée (remarque : le début de chaque procédure est commencé sur le **dossier réponses**). Voir le **dossier technique** page 5/8.
- 3.2. Définir le titre d'habilitation que devra posséder la personne qui effectuera ces opérations de consignation/déconsignation. Vous répondrez sur votre copie.

PARTIE 4 : Estimation des bénéfices consécutifs au choix de l'exploitant du site

Les défauts sur le relais de surveillance et le disjoncteur entraînaient depuis quelques années des arrêts de production et des interventions coûteuses pour l'exploitant du site. Ainsi, le suivi des arrêts de production de l'éolienne n°6 entre le 01 février 2010 et le 31 janvier 2011 avait permis d'estimer les pertes financières à 18000 € hors taxe (HT).

Le remplacement du disjoncteur général BT et l'implantation de deux parafoudres sur l'éolienne n°6 se sont déroulées au mois de mai 2012. Le coût de ces modifications se portait à 10 339 € (HT). Aucun arrêt n'est observé depuis la remise en production. L'exploitant du site souhaite estimer en combien de temps les investissements ont été « rentabilisés ».

*Un bilan des arrêts de production de l'éolienne n° 6 durant une période de 15 mois s'étendant du 01 février 2011 au 31 avril 2012 est fourni dans le **dossier technique** page 8/8. Ces arrêts de production ont provoqué des coûts de deux natures : le manque à gagner pour la revente de l'énergie au gestionnaire du réseau électrique et les interventions du technicien à chaque remise en production de l'éolienne.*

- 4.1. Compléter le tableau fourni sur le **dossier réponses** page 7/8 afin de déterminer le manque à gagner sur une période de **12** mois à compter du 01 février 2011.
- 4.2. Compléter le tableau fourni sur le **dossier réponses** page 8/8 afin de déterminer le coût, sur une période de **12** mois, des interventions du technicien.
- 4.3. Faire une analyse rapide entre le 01 février **2010** et le 31 janvier **2012** des coûts pour justifier, sur votre copie, que l'investissement est « rentabilisé » *au bout d'environ 7 mois.*