

**VOUS DEVEZ RESPECTER LE RÈGLEMENT SUR LES INFRACTIONS DE NATURE ACADÉMIQUE**

**NOTAMMENT :**



- Vous n'êtes pas autorisé à avoir en votre possession un cellulaire au cours de l'examen. Il doit impérativement demeurer à l'extérieur de la salle ou être déposé à l'endroit désigné par le surveillant, le cas échéant.
- Toujours remettre ce questionnaire à la fin de l'examen.
- Respecter les consignes concernant la documentation permise.

Une sanction allant jusqu'à l'échec au cours pourrait vous être imposée en cas d'infraction au Règlement.

<b>Questionnaire :</b>
<b>Nom de l'étudiant :</b>
<b>Prénom :</b>

<b>N° de questionnaire :</b>
<b>Code permanent :</b>
<b>Signature :</b>

**HIVER 2022– EXAMEN FINAL**

**Sigle et titre :** SYS847 – Technologie éolienne

**Groupe(s) :** 01

**Enseignant(s) :** IBRAHIM Hussein

**Date :** 27 avril 2022

**Heure :** 9:00      **Durée :** 03:00

**Écrire les réponses :**

- dans le cahier d'examen standard ÉTS
- sur ce questionnaire
- Sur feuilles à scanner et à déposer sur Moodle pour les parties 2 et 3 et sur Moodle pour la partie 1

**IMPORTANT**

Avant de commencer à rédiger son examen, l'étudiant doit vérifier la pagination et la qualité de l'impression de ce questionnaire qui comporte **31** questions présentées sur **6** pages incluant la page de titre et les annexes s'il y a lieu.

**Calculatrice :**       interdite       autorisée

**Documentation :**       aucune       toute       limitée, préciser : \_\_\_\_\_

**Annexe(s) :**       aucune       oui, préciser le titre, spécifier les pages \_\_\_\_\_

**Examen en laboratoire informatique :** Préciser les modalités, s'il y a lieu (ex. : utilisation de Moodle, etc.) : \_\_\_\_\_

**Directives particulières (s'il y a lieu) :**      **L'ordinateur personnel avec fonctions de communication fermées est permis**

*Les professeurs des départements peuvent se prévaloir d'être disponibles uniquement durant la première heure de leur examen final. Ils doivent toutefois en informer leurs étudiants.*

## **Partie I : Questionnaire à Choix Multiples : 20 questions - 1 point par question (20 points)**

Répondre directement aux questions de quiz disponibles sur Moodle.

## **Partie II : Questions de développement (20 points)**

### **Question 21 (5 points) :**

Citez trois problématiques liées à la connexion des éoliennes au réseau. Donnez des exemples concrets (chiffrés).

### **Question 22 (5 points) :**

Quelles sont les différences entre la courbe de puissance d'une éolienne et celle d'un parc éolien composé de ces mêmes éoliennes ? Quelles en sont les causes ?

### **Question 23 (5 points) :**

Quels sont les différents coûts d'un projet éolien ? Quels sont les facteurs influençant ces coûts ? Donnez des ordres de grandeur pour l'éolien terrestre.

### **Question 24 (5 points) :**

Quelles sont les différentes contraintes d'exploitation liées au givrage atmosphérique rencontrées en milieu nordique. Existe-t-il des solutions pour contrer ses effets ? Si oui, lesquelles ? (Donnez 3 exemples)

### Partie III : Problèmes (65 points)

*Les questions sont indépendantes les unes des autres, il n'est pas obligatoire d'avoir réussi une question pour pouvoir faire la suivante. Il se peut cependant que certaines données d'une question soient dans un des énoncés des questions précédentes.*

#### Problème A (10 points) :

Une petite éolienne d'1 kW est installée avec des coûts initiaux de 4 500\$. Cette éolienne nécessite des coûts opération et de maintenance de 200\$ par année. Sa durée de vie est estimée à 15 ans.

#### Question 25 (8 points) :

En supposant un taux d'actualisation de 6% et un facteur de charge de l'éolienne de 30%, déterminez le coût actualisé de l'énergie produite par cette éolienne.

#### Question 26 (2 points) :

Commentez le résultat obtenu dans la question précédente et situez-le par rapport au coût actualisé de l'énergie des projets éoliens terrestres d'aujourd'hui.

#### Problème B (20 points) :

Un parc éolien à l'étude comptera 18 éoliennes alignées les unes derrière les autres. Les vitesses moyennes du vent selon l'orientation de la nacelle (par tranche de 30 degrés) sont données dans le tableau fourni en Annexe. On utilise ces vitesses moyennes pour calculer la production d'une éolienne.

L'éolienne qui sera utilisée dans ce projet ne génère pas de puissance pour des vitesses du vent inférieures à 4m/s. La puissance nominale (de 2,0 MW) est atteinte pour des vitesses du vent au-dessus de 11 m/s. Le courbe de puissance est cubique de 4 m/s à 11m/s et suit cette équation :

$$P(U) = 4,4192 * U^3 - 58,658 * U^2 + 365,87 * U - 810,44$$

Enfin, la vitesse de coupure du vent est de 24 m/s.

Les pertes du réseau sont supposées être de 15% lorsque le vent vient du nord ou du sud (0 ou 180 degrés) et de 0% lorsque le vent vient d'autres directions. En outre, il est supposé que les autres pertes (temps d'arrêt, pertes électriques, conditions météorologiques...) soient de 20%.

#### Question 27 (15 points) :

Selon ces hypothèses, quel sera le facteur de charge total de ce parc éolien ?

Le promoteur apprend que le fabricant de l'éolienne n'honorerait pas la garantie si les éoliennes étaient utilisées lorsque le vent souffle directement le long de la rangée d'éoliennes (pour des directions de 0 et 180 degrés) en raison de turbulences de sillage excessives.

**Question 28 (5 points) :**

Ainsi, le promoteur n'a pas d'autre choix que de déconnecter ses éoliennes lorsque le vent souffle dans ces directions. Quel est l'impact de cette mesure sur le facteur de charge du parc ?

**Problème C (35 points)**

Un promoteur de parc éolien achète une parcelle d'une surface de  $9 \text{ km}^2$  (de longueur et largeur égales). Il décide d'y installer un parc éolien mais hésite entre deux dispositions :

- Première disposition : Chaque fondation d'éolienne sont espacées de 10 diamètres de rotor transversalement et longitudinalement. Cette répartition limite le coefficient de perte réseau à 5%.
- Deuxième disposition : Chaque fondation d'éolienne sont espacées de 7 diamètres de rotor transversalement et longitudinalement. Cette répartition augmente les pertes réseau (coefficient égal à 12%).

Les éoliennes utilisées sont de type Vestas V90 d'une puissance nominale unitaire de 2 MW. Le rotor de ces éoliennes à un diamètre de 90m. Les facteurs de charge de ces éoliennes sont de 27%.

Pour pouvoir être positionnée sur la parcelle, la fondation d'une éolienne doit se trouver à plus de 3 diamètres de rotor de la fin de cette parcelle (cf. Figure 1 avec  $D$  le diamètre du rotor de l'éolienne).

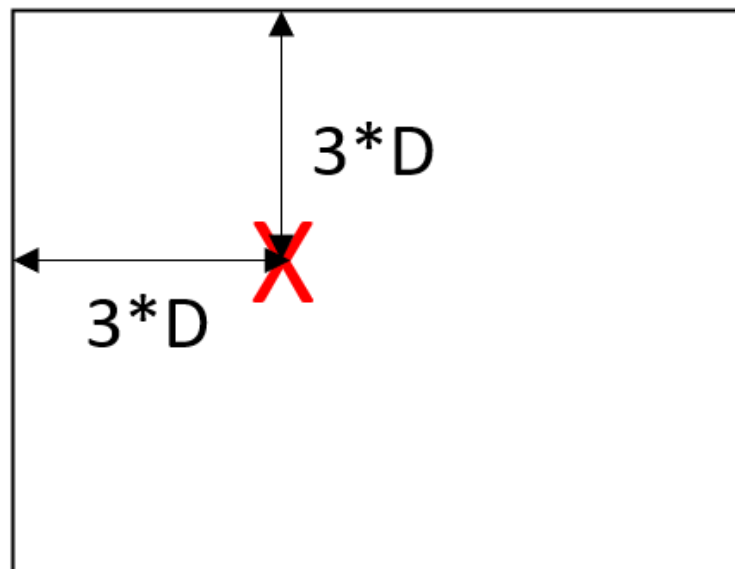


Figure 1 : Disposition limite d'une éolienne

**Question 29 (15 points) :**

À partir de ces données, déterminez le nombre maximal d'éoliennes pouvant être installées dans les deux dispositions. Déterminez ensuite les productions électriques de ces deux parcs sans prendre en compte les pertes de réseau. Faites la même chose en prenant en compte les pertes réseau.

On cherche désormais à faire une étude économique de ces deux dispositions. Dans les deux cas, on considère un investissement initial à hauteur de 15% du capital remboursé sur 15 ans avec un taux d'intérêt de 4%. Pour la première configuration, le coût initial est de 1 600 \$ par kW installé. Ce tarif est de 2% inférieur pour la deuxième configuration. On utilise un taux d'actualisation de 5%.

L'électricité produite est revendue au tarif de 0,12 \$ le kWh. On estime que ce tarif devrait baisser d'1% par année.

Les coûts liés à la maintenance sont de 35 \$/kW et devraient augmenter de 2% par année. Concernant les assurances, elles ont un coût de 45 \$/kW et devraient, elles aussi, augmenter (3% par année).

Il faut également compter des coûts liés à l'entretien lors de la dixième année (éventuelles pièces à changer...) à hauteur de 5% des coûts totaux initiaux (pas d'inflation à prendre en compte).

Enfin, une subvention est accordée pour le projet d'une valeur de 1 000 k\$. La moitié est versée au début du projet et la deuxième moitié est versée lors de la dixième année du projet (la valeur de cette subvention sera donc actualisée et vaut 500 k\$ aujourd'hui).

Pour éviter des erreurs liées aux réponses de la question 1), on suppose que la première disposition permet de produire 40 GWh avec 9 éoliennes alors que la seconde permet une production de 67 GWh avec 16 éoliennes.

**Question 30 (10 points) :**

Avec ces informations, déterminez tous les flux financiers (positifs et négatifs) de ce projet.

**Question 31 (10 points) :**

Calculez les valeurs actualisées nettes de ces projets après 20 années et déterminez lequel de ces deux projets est le plus rentable d'un point de vue économique.