

## 1- L'épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur

Cette épreuve est commune aux trois options. Les candidats composent sur le même sujet au titre de la même session quelle que soit l'option choisie. Conformément à l'arrêté du 25/11/2011, « cette épreuve a pour but de vérifier que le candidat est capable de mobiliser ses connaissances scientifiques et techniques pour conduire une analyse systémique, élaborer et exploiter les modèles de comportement permettant de quantifier les performances globales et détaillées d'un système des points de vue matière, énergie et information afin de valider tout ou partie de la réponse au besoin exprimé par un cahier des charges. Elle permet de vérifier les compétences d'un candidat à synthétiser ses connaissances pour analyser et modéliser le comportement d'un système pluri-technique automatique ».

La première épreuve d'admissibilité a été traitée de manière linéaire, ce qui montre que l'approche des systèmes pluri technologiques est maintenant bien assimilée par les candidats et que les lauréats 2014 ont des compétences transversales pour aborder la complexité des systèmes actuels et futurs. Il subsiste des lacunes sur des savoirs fondamentaux, en particulier la modélisation des systèmes n'est pas suffisamment maîtrisée. Certains candidats confondent facilement des grandeurs scalaires et des matrices dans les opérations algébriques classiques et l'homogénéité des expressions n'est pas systématiquement vérifiée.

### Présentation du sujet

Le sujet proposé pour cette épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur s'appuyait sur la problématique liée à la production d'énergie électrique pour des puissances inférieures à 20kW à l'aide d'éoliennes simples et fiables d'axe vertical particulièrement adaptées à ces besoins.

Le support technique retenu est le système éolien FAIRWIND 10kW, implanté sur un site d'essais dans l'Aude (11), dont le contexte et l'infrastructure permettent de respecter les critères suivants :

- rendement insensible à la direction du vent ;
- rotor éolien simple et fiable ;
- système mécanique réduit sans système d'orientation ;
- hauteur totale de l'installation faible ;
- bruit généré par la vitesse des pales plus faible qu'une éolienne conventionnelle.

Cette épreuve, composée de cinq parties indépendantes, a permis de tester chez les candidats les connaissances et capacités requises dans les champs suivants :

- analyse fonctionnelle des performances globales du système éolien ;
- conversion de l'énergie éolienne en énergie mécanique ;
- conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique ;
- dimensionnement de l'implantation de l'éolienne sur le site ;
- validation du comportement vibratoire du mât ;
- optimisation de la conversion de l'énergie éolienne en énergie électrique ;

## Analyse globale des résultats

La majorité des candidats a abordé l'ensemble des parties du sujet et la progression a été principalement linéaire. La progressivité de la difficulté dans le questionnement a permis d'identifier les candidats les plus performants.

Le jury encourage les futurs candidats à l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur à poursuivre leur effort de formation afin de développer les compétences transversales de sciences de l'ingénieur.

## Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux candidats

En préambule (Questions 1 à 4), il était proposé au candidat une analyse des performances globales de ce mode de production d'énergie électrique. Le travail demandé permettait notamment d'évaluer la durée d'amortissement d'un tel équipement à partir de mesures de l'énergie électrique produite en fonction de la vitesse du vent et du prix de rachat de l'énergie par EDF. Si un bon nombre de candidats a bien traité cette partie du sujet, de trop nombreuses réponses font apparaître des difficultés à exprimer simplement les notions requises. La description SysML en particulier a été bien utilisée par certains candidats pour clarifier les échanges entre les sous-ensembles du système (Question 3).

Le jury recommande aux futurs candidats d'approfondir leur approche concernant la compétitivité des produits et des services notamment sous l'angle de l'économie générale des systèmes (exploitation des données technico-économiques, coûts d'acquisition, de fonctionnement, de maintenance, retour sur investissement, représentation des systèmes complexes).

### **PARTIE 1 : « Modéliser la conversion de l'énergie éolienne en énergie mécanique »**

L'objectif de cette étude (Questions 5 à 13) était d'estimer la puissance mécanique produite à l'entrée de la génératrice synchrone pour une vitesse de vent  $V=10 \text{ ms}^{-1}$  et une fréquence de rotation de l'éolienne de  $70 \text{ tours min}^{-1}$ .

Le jury constate que les phénomènes physiques mis en jeu (aérodynamique, mécanique) et leurs modélisations ne sont pas suffisamment maîtrisés par une grande partie des candidats. De graves confusions faisant intervenir des notions de base sont présentes chez un certain nombre de candidats : force et moment, vitesse et puissances. La géométrie vectorielle pose des problèmes (notamment lors des projections dans une base). L'homogénéité des expressions aurait dû être systématiquement vérifiée.

Le jury recommande aux futurs candidats d'aborder avec la plus grande rigueur toutes les champs disciplinaires de l'épreuve commune et ceci indépendamment de la spécialité propre des candidats.

### **PARTIE 2 : « Modéliser la conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique »**

L'objectif de cette étude (Questions 14 à 18) était de valider la structure de la chaîne de conversion de l'énergie éolienne en énergie électrique puis de choisir une loi de commande des convertisseurs de puissance permettant de minimiser les pertes électriques.

Seuls 10% des candidats ont correctement traité cette partie, qui reposait sur la construction et l'exploitation du diagramme de Fresnel relatif à une machine synchrone à aimants permanents simplifiée. Le jury conseille aux futurs candidats de se familiariser avec les modèles des

convertisseurs d'énergie classiques qui équipent la plupart des systèmes, ainsi qu'avec leurs paramètres constructifs et grandeurs réglantes..

### **PARTIE 3 : « Dimensionner l'implantation de l'éolienne sur le site »**

L'objectif de cette partie (Questions 19 à 23) était de valider les conditions de chargement de l'éolienne pour un vent extrême afin d'assurer une implantation convenable de cette dernière sur le site.

Pour cela, deux études étaient proposées :

- validation du mât en termes de contraintes et de déformations subies ;
- vérification du dimensionnement du massif de fondation.

Le jury constate que les phénomènes physiques mis en jeu dans cette partie et leurs modélisations sont mal maîtrisés. La résistance des matériaux est bien souvent mal traitée. Des résultats classiques (l'importance de la composante de la flexion dans le calcul de la contrainte normale par rapport à l'influence de la compression par exemple) ne sont pas connus. Certaines erreurs constatées dans cette partie (inhomogénéité des expressions, incohérence des ordres de grandeur, importance relative des phénomènes, conditions aux limites mal définies) auraient sans doute du être évitées.

Il est rappelé que la modélisation en résistance des matériaux touche à des problématiques communes à l'ensemble des trois spécialités de l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur.

### **PARTIE 4 : « Valider le comportement vibratoire du mât »**

L'objectif de cette étude (Questions 24 à 31) était de vérifier qu'aucune fréquence propre de vibration du mât n'était sollicitée dans les conditions normales de fonctionnement de l'éolienne.

Le jury constate que la moitié des candidats ont abordé cette partie. Seuls 15% des candidats parviennent à développer une analyse convenable concernant le problème posé.

Certaines erreurs constatées dans cette partie (inhomogénéité des expressions, incohérence des ordres de grandeur, imprécision des systèmes isolés, conditions limites mal définies) auraient sans doute dû être évitées.

Le jury conseille aux futurs candidats d'être plus rigoureux quant aux démarches de modélisation et de résolution de problèmes appliquées aux systèmes complexes.

### **PARTIE 5 : « Optimiser la conversion de l'énergie éolienne en énergie électrique »**

L'objectif de cette étude (Questions 32 à 41) était d'optimiser la production de l'éolienne, en vérifiant s'il est possible d'envisager l'asservissement de position de chacune des pales au cours de la rotation.

Le jury constate que seuls 10% des candidats ont convenablement traité cette partie.

Il est rappelé que la modélisation d'état relève d'une approche moderne de l'automatique, et fait partie des fondamentaux de l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur et doit, à ce titre, être maîtrisée.

En synthèse finale (Questions 42 à 46), il était proposé au candidat de conclure sur la nature « propre » de ce mode de production d'énergie électrique notamment par la comparaison de

l'émission générée de CO<sub>2</sub> vis-à-vis de l'énergie électrique produite à partir de centrales à charbon, au fuel et au gaz.

Les réponses fournies par les candidats ayant accédé à cette synthèse (15% des candidats) ont été parfaitement rédigées.

### Conseils du jury

Le jury encourage les candidats à traiter toutes les parties du sujet et à montrer qu'ils maîtrisent l'ensemble du domaine des sciences de l'ingénieur. Ceci requiert de leur part la mise en relation des sciences et techniques de l'ingénieur avec leurs outils de description mathématiques et physiques, seule capable d'apporter la clarté exigée dans l'étude des systèmes complexes pluritechniques utilisés dans l'enseignement moderne.

La présentation des copies doit être claire et concise. Il faut indiquer le numéro des questions traitées et la démarche de résolution. Cette dernière doit être exposée avec rigueur, les hypothèses doivent être explicitées clairement et les notations doivent être précises, claires et respecter scrupuleusement celles imposées dans le sujet.

De plus, les expressions littérales doivent être impérativement présentées de la façon suivante :

- l'expression littérale, sans aucune application numérique, est présentée encadrée ;
- l'expression est ensuite donnée en remplaçant les termes littéraux par leurs valeurs numériques, dans le même ordre que l'expression littérale ;
- le résultat numérique est ensuite indiqué avec l'unité, encadré.

## Conclusion

Le sujet a été conçu pour permettre aux candidats d'exprimer au mieux leurs compétences dans le cadre de cette nouvelle épreuve transversale. Toutes les questions du sujet ont été abordées par les candidats quelle que soit l'option choisie. Cependant on relève encore un nombre important de candidats visiblement surpris ou mal préparés à cette épreuve et à son approche transversale qui casse les codes disciplinaires traditionnels en mobilisant toutes les dimensions des sciences de l'ingénieur. Le jury conseille aux futurs candidats de porter une attention toute particulière à la préparation de cette épreuve en développant leurs compétences transversales.

## Résultats

161 candidats IE, dont 16 candidats à l'agrégation marocaine, ont composé pour cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est de 7/20 et l'écart-type 3/20 avec : 16,74 comme meilleure note et 2,41 comme note la plus basse.

