

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable

ENSEIGNEMENTS TECHNOLOGIQUES TRANSVERSAUX

Coefficient 8 – Durée 4 heures

Aucun document autorisé

L'usage de tout modèle de calculatrice, avec ou sans mode examen, est autorisé.



Projet de parc éolien WindPicardie

- **sujet** (*mise en situation et questions à traiter par le candidat*)
 - **partie 1 (1 heure)** pages 2 à 4
 - **partie 2 (3 heures)** pages 5 à 9
- **documents techniques** pages 10 à 21
- **documents réponses** pages 22 à 26

Le sujet comporte deux parties indépendantes qui peuvent être traitées dans un ordre indifférent.

Les documents réponses DR1 à DR10 (pages 22 à 26) seront à rendre agrafés aux copies.

Baccalauréat Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable – STI2D		Session 2018
Enseignements technologiques transversaux	Code : 18ET2DMLR1	Page 1 / 30

Mise en situation

La production électrique créée à partir d'éoliennes (également appelées aérogénérateurs) fait l'objet d'importants développements industriels.

Les sites d'installation sont choisis en fonction de plusieurs paramètres : la gestion technique de la production sur le réseau électrique (raccordement), les impacts environnementaux (oiseaux, paysage, bruit, etc.), l'aménagement du territoire.

Il existe deux types de sites comme l'illustrent les deux photos ci-dessous :

Terrestre



Maritime



Maîtriser la consommation électrique est aussi un impératif pour tous. Ainsi, en complément d'une plus large utilisation des énergies renouvelables, il faut d'abord privilégier la maîtrise des consommations et les économies d'énergie. Il faut pour cela :

- utiliser des équipements performants et économes (électroménager, éclairage, etc.) en privilégiant les plus performants ;
- diminuer la part des utilisations non spécifiques de l'électricité (comme le chauffage) en isolant mieux les bâtiments et en privilégiant d'autres sources d'énergie pour ces usages non spécifiques (bois, solaire, etc.) ;
- modifier les habitudes pour consommer moins et réduire les gaspillages : la consommation domestique d'électricité a presque doublé en France en l'espace de trente ans.

La gestion des parcs éoliens est réalisée par des sociétés appelées « chargées d'exploitation ».

La société WindPicardie est une société de ce type basée dans le département de la Somme. Elle a pour métier l'étude d'implantation, la construction, l'exploitation et la maintenance de parcs éoliens pour des clients ou des investisseurs.

Les diagrammes de contexte et des cas d'utilisation, ci-dessous, décrivent le rôle et les missions des sociétés chargées d'exploitation.

Diagramme de contexte

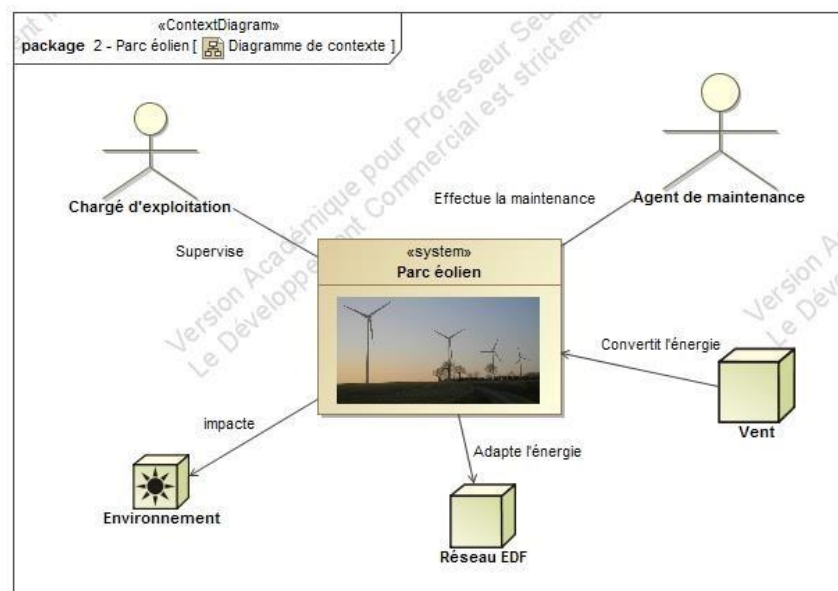
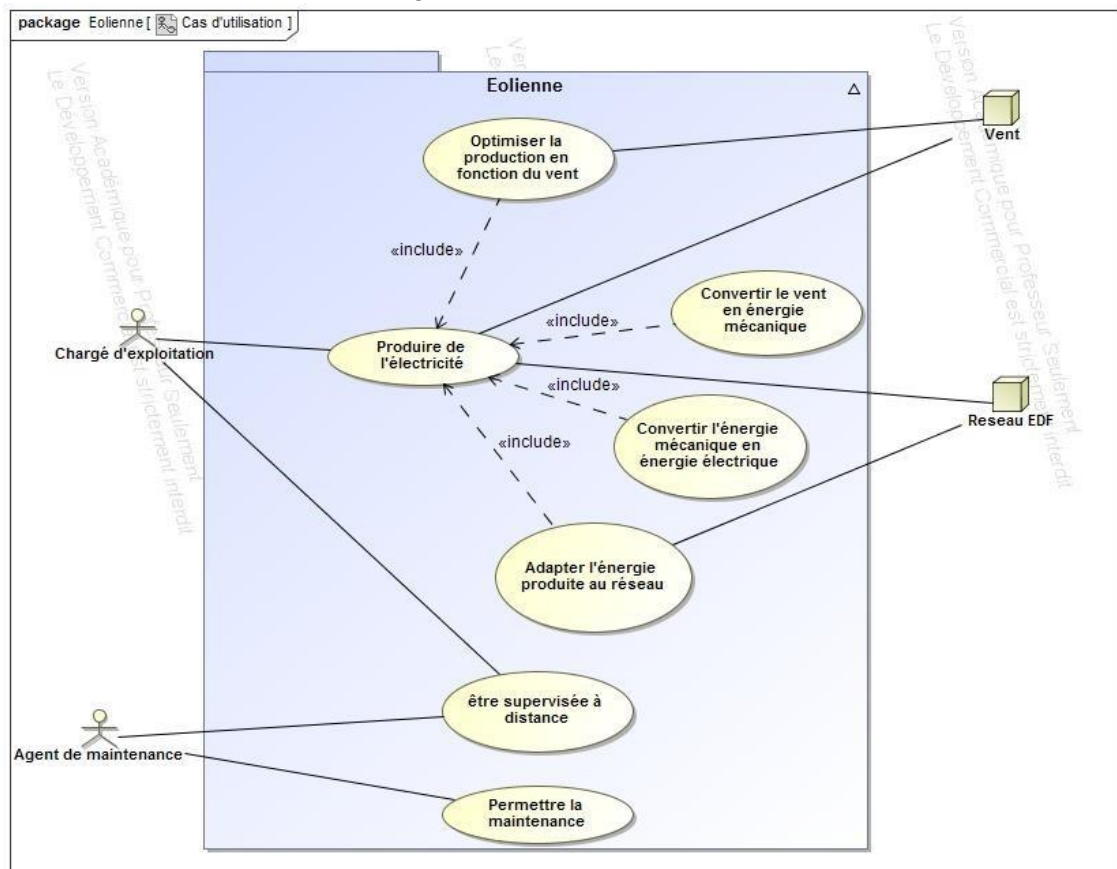


Diagramme des cas d'utilisation



Depuis quelques années, cette société voit son activité augmenter fortement et prévoit l'implantation de nouveaux parcs. Le sujet correspond à l'une de leurs études.

Partie 1 – Implantation d'un parc éolien

L'objectif de cette partie est d'analyser les conditions d'implantation d'un parc éolien.

Enjeux environnementaux et énergétiques

Question 1.1
Voir DT1

En vous aidant de la mise en situation et du DT1, **citer** au moins deux facteurs qui justifient l'essor de l'industrie éolienne.

Gisements éoliens

La société WindPicardie prospecte en vue d'augmenter sa capacité de production, elle est en quête du lieu optimal pour implanter son prochain parc éolien.

Question 1.2
Voir DT2 et DT3

Désigner, en justifiant votre réponse, les lieux d'implantation les plus intéressants. **Justifier** également l'intérêt de l'implantation de champs éoliens dans les zones peu ventées.

Étude de la localisation d'un projet de parc éolien

La région des Hauts-de-France dispose de gisements éoliens très importants ; trois sites ont été retenus dans le cadre de l'avant-projet d'un parc de dix éoliennes, du fait de terrains disponibles. Le choix final du site dépend, entre autres, des contraintes patrimoniales et techniques.

Question 1.3
Voir DT5
DR1

En se référant à la carte du DT5, **compléter** à l'aide de croix le tableau du DR1 associant les contraintes aux différents projets puis **justifier** à quelle(s) condition(s) l'un des projets peut être retenu.

Étude de l'implantation des éoliennes dans le parc

Le site a été choisi et validé par les autorités. Le chargé d'exploitation doit maintenant implanter les dix aérogénérateurs d'une puissance nominale de 2 MW sur les parcelles choisies. Le raccordement des éoliennes entre-elles se fait par des câbles en cuivre de forte section dont le coût est très important.

Question 1.4 **Expliquer** le problème rencontré lorsque les aérogénérateurs sont alignés par rapport au vent.

Voir DT4

DR2

Sur le DR2, **indiquer par un M** la flèche représentant la direction la plus mauvaise du vent dominant par rapport à l'implantation et **indiquer par un O** la flèche représentant la direction optimale du vent dominant par rapport à l'implantation du parc éolien (réduire au minimum l'alignement d'éoliennes).

Question 1.5 En tenant compte du schéma d'implantation DT7, **calculer** le coût minimal et maximal de raccordement des éoliennes, sachant que le coût du câble est de 100000 € au km.

Voir DT7

Conclusions sur l'implantation des éoliennes dans le parc

Question 1.6 Afin de diminuer le coût du raccordement, on envisage de rapprocher les éoliennes en dessous de 500 mètres dans la direction L2 et en dessous de 300 mètres dans la direction L1. Cette configuration conduit à opérer un compromis entre le coût de raccordement et l'évolution de la vitesse du vent entre éoliennes. À l'aide de l'étude ci-dessus, **décrire** le compromis et **justifier** ce choix des distances minimales d'installation opérée par l'installateur.

Voir DT4

Partie 2 – L'aérogénérateur et son implantation

Choix du modèle d'aérogénérateur en fonction de la vitesse moyenne (V_{moy}) des vents

Le projet choisi par WindPicardie est le projet 2 ; il est installé en rase campagne, là où seuls quelques obstacles au vent sont présents. Le mât des éoliennes a une hauteur de 95 mètres.

Détermination de V_{moy} à $h = 40$ et 95 m dans le secteur du parc

Un schéma régional éolien terrestre est réalisé afin de développer cette énergie renouvelable et dimensionner les éoliennes terrestres (aérogénérateurs).

Question 2.1 Voir DT6 et DT9 DR3	À partir des DT6 et DT9, compléter le tableau DR3 en y indiquant les plages de vitesse des vents à 40 m et à 95 m sur le site.
--	---

Détermination du modèle d'aérogénérateur

WindPicardie possède d'autres parcs éoliens et souhaite optimiser la maintenance de ses machines et la formation de ses employés. C'est pourquoi elle se tourne vers le fabricant qui équipe la majorité de ses parcs pour choisir ses nouveaux aérogénérateurs.

L'essentiel des aérogénérateurs gérés par la société possèdent une puissance nominale de 2 MW.

Pour choisir un modèle de la gamme, il est nécessaire de déterminer la classe de vents.

Question 2.2 Voir DT8 et DT10	À l'aide du DT8 et des valeurs définies à la question 2.1, déterminer en la justifiant, la classe de vents à laquelle les aérogénérateurs du site doivent appartenir. En déduire , à partir du DT10, s'il existe dans la gamme du fabricant des modèles adaptés pour le futur parc et donner leurs références le cas échéant.
----------------------------------	--

--

Le modèle retenu par l'exploitant a un diamètre de 90 mètres.

Vérification de la stabilité de la structure

La résistance du sol ne doit pas être dépassée. Les caractéristiques du sol sous la fondation de l'éolienne sont les suivantes : sol cohérent, moyennement consistant et craie tendre.

Il s'agit maintenant de vérifier la stabilité de la structure au regard des effets de poinçonnage (enfouissement dans le sol) et de déversement (basculement de l'éolienne).

Étude de la stabilité de l'éolienne au regard de l'effet de poinçonnage

Question 2.3
Voir DT15

Déterminer la masse de l'ensemble {nacelle, mât, pales}. **Déterminer** le volume des fondations, en **calculer** la masse en y ajoutant celle due à la surcharge de ferrailage.

Question 2.4

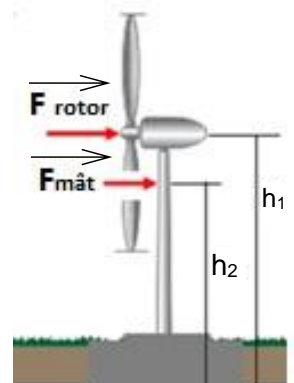
Calculer le poids total de l'aérogénérateur. On prendra $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$.

Question 2.5
DR4

Déterminer et noter sur copie, le type de sollicitation que va générer l'aérogénérateur sur le sol. **Calculer** la pression $p_1 \text{ (N.m}^{-2}\text{)}$ s'exerçant sur le sol et **tracer**, sans échelle sur DR4, le profil de pression qui va s'y appliquer.

Étude de la stabilité de l'éolienne au regard de l'effet de déversement

Les efforts aérodynamiques du vent sur les pales créent sur la nacelle un effort horizontal $F_{\text{rotor}} = 250 \text{ kN}$. La résultante s'applique à une hauteur $h_1 = 97 \text{ m}$. Il y a également un effort horizontal sur le mât de l'éolienne $F_{\text{mât}} = 30 \text{ kN}$, dont la résultante des efforts sur le mât s'applique à une hauteur $h_2 = 65 \text{ m}$.



Question 2.6
DT11
DR4

Le résultat de simulation (disponible DT11) représente la voir répartition des pressions sous la fondation dans les conditions de chargement fixées ci-dessus. **Déterminer** la valeur maximale de pression p_2 . **Cocher** sur le DR4 le profil correspondant à cette simulation.

Conclusion sur la stabilité de la structure

Question 2.7 | Les sollicitations de poinçonnage et de déversement se superposant, en **déduire** la valeur de la pression maximale p_{\max} qui s'exerce sur le sol.

Question 2.8 | La résistance du sol est comprise entre 0,2 et 0,4 MPa. Sachant que le bureau d'étude de WindPicardie a estimé qu'un coefficient de sécurité de 1,5 minimum est nécessaire, **vérifier** que le cahier des charges sur cette contrainte de non enfoncement est respecté.

Prise en compte du phénomène de résonance

Si on fournit à un système de l'énergie régulièrement, à une fréquence égale à sa fréquence propre, des oscillations d'amplitude croissante vont apparaître : c'est la résonance.

Le DT12 permet de mettre en évidence ce phénomène.

Question 2.9 | **Commenter** le comportement du mât et **décrire** le problème qui pourrait apparaître.
Voir DT12

La fréquence d'excitation dépend notamment de la vitesse de rotation du rotor (ensemble tournant).

Question 2.10 | **Calculer** la fréquence f_{rotor} pour une vitesse maximale de rotation de 25 tours par minute.

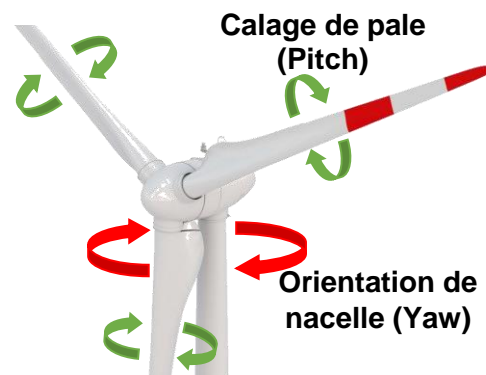
Question 2.11 | À l'aide du DT13, **déterminer**, en justifiant votre réponse, s'il y a un risque que l'éolienne entre en résonance sur la plage de fonctionnement allant de 0 à 25 tr.min⁻¹.
Voir DT13

Optimisation de la production d'un aérogénérateur

L'objectif de cette partie est d'analyser le comportement d'une éolienne afin d'optimiser sa production d'énergie électrique.

Le système de contrôle – commande est un dispositif qui surveille l'état de l'éolienne en permanence. Il communique avec le centre de conduite ou l'opérateur de maintenance en transmettant des alarmes ou des demandes d'entretien. Il peut aussi recueillir des statistiques et contrôler sa position actuelle.

Il permet également de contrôler de manière continue le dispositif d'orientation de la nacelle de l'éolienne (Yaw) ainsi que le dispositif de calage des pales (Pitch).



Une modélisation multi-physique (voir DT16) permet de simuler le comportement de l'aérogénérateur dans des conditions extrêmes sans avoir à le tester en grandeur nature.

Le module de supervision de cette modélisation simule le comportement du système de « contrôle – commande » et permet de contrôler l'éolienne en fonction de différents paramètres, qu'ils soient internes ou externes.

Question 2.12

Voir DT14 et DT16

D'après le diagramme DT14, **donner** les exigences permettant de réaliser l'exigence « *Optimiser la production en fonction du vent* ». À partir de la modélisation du DT16, **déterminer** les variables d'entrée et de sortie de la supervision.

Limitation de la vitesse de rotation du rotor

Le document réponse DR5 donne les courbes de puissance et du coefficient de puissance C_p de l'éolienne.

Question 2.13

Voir DT17

DR5

À partir du DT17, **compléter** le tableau DR5 en déterminant les conditions de vent limite de production d'énergie $V_{\text{vent mini}}$ et $V_{\text{vent maxi}}$ ainsi que la vitesse nominale V_{nom} à partir de laquelle celle-ci fournit sa puissance maximale.

La fréquence de rotation du rotor est limitée par la fréquence de rotation du générateur qui dépend de la fréquence du réseau électrique.

Le DT18 présente le principe de protection de survitesse du générateur. Celui-ci permet de déterminer les vitesses de déclenchement de cette protection mais aussi la fréquence de rotation critique du générateur.

Question 2.14
Voir DT18

Le multiplicateur a un rapport de transmission de 112,8. **Déterminer** les fréquences de rotation maximale et nominale du rotor de l'éolienne. **Justifier** la nécessité de réguler la vitesse du rotor et **expliquer** quel système permet cette régulation.

Domaine de fonctionnement

La machine à états du modèle multi-physique permet de décrire les différents états de fonctionnement de l'éolienne grâce au diagramme d'état DR6.

Question 2.15
Voir DT17
DR6

À partir de la description des différentes phases de fonctionnement d'une éolienne, **compléter** les transitions manquantes entre chacun des états du diagramme d'état du DR6.

Question 2.16
Voir DT17
DR5

Sur le DR5, **identifier**, en complétant les zones correspondant aux états :
- éolienne parquée ;
- production puissance variable ;
- production puissance nominale.

Sur le graphique du DR5, apparaît le coefficient de puissance C_p . Celui-ci caractérise la puissance récupérée par l'éolienne par rapport à la puissance du vent.

De fait, la puissance mécanique de l'éolienne peut se calculer par la formule suivante :

$$P_{\text{éolienne}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V_{\text{vent}}^3 \cdot C_p$$

avec :

$\rho = 1,225 \text{ kg.m}^{-3}$ (masse volumique de l'air au niveau du sol en kg.m^{-3})
 S = surface balayée par le rotor en m^2
 V_{vent} = vitesse du vent en amont de l'éolienne en m.s^{-1}
 C_p = coefficient de puissance

Question 2.17
Voir DT14 et DR5

Compléter le document DR7, en utilisant les valeurs de C_p fournies par DR5.
Comparer les puissances ainsi calculées à la puissance nominale de l'éolienne.
En vous aidant du diagramme DT14, **identifier** la solution technologique qui permet de réaliser cette optimisation de puissance.

Conclusion sur le domaine de fonctionnement de l'éolienne

Question 2.18
Voir DR5

Dans l'opinion publique, on entend souvent dire « plus il y a de vent, plus une éolienne produit d'électricité ». En vous appuyant sur la courbe d'évolution de la puissance fournie par l'éolienne, **commenter** cette affirmation.

Étude de la supervision

Chaque éolienne est équipée d'un système embarqué. Les données machines, telles que la température du frein, la vitesse de rotation des pales, la direction et la vitesse du vent, la puissance fournie, l'orientation de la nacelle, etc. permettent une gestion et une sécurité optimales de la production d'électricité.

Mesures et transmission des informations relatives au vent

L'étude porte sur la mesure et la transmission de la vitesse et de la direction du vent réalisées par des anémomètres communicants.

Question 2.19

Voir DT19

DR8

À partir du document DT19, sachant que les transducteurs du capteur vent sont distants de 0,2 m, **compléter** le tableau du DR8.

Sur la figure de la rose des vents donnée, **tracer** les vitesses obtenues dans la direction N-S et dans la direction E-W en arrondissant, pour le tracé, à la valeur entière supérieure les résultats obtenus. **Tracer** la vitesse résultante (le vent vient de la direction opposée).

Question 2.20

DR8

Le calculateur ne procédant pas à une résolution graphique mais à une résolution formelle, **calculer** pour l'exemple précédent le module (norme) de la vitesse du vent (noté v) et la direction du vent (angle noté Θ par rapport au nord) et **vérifier** la cohérence avec les résultats de la question précédente.

--

Le capteur de vent communique *via* le protocole CIBus (DT20). La capture d'une réponse du capteur vent donne la trame suivante :

<SOH>	104	A	<STX>	C13	♥	05152	07167	06138	0408	142162	06168	0878	<EOT>	6
-------	-----	---	-------	-----	---	-------	-------	-------	------	--------	-------	------	-------	---

Question 2.21

Voir DT20

DR9

À partir de cette trame de communication sous le protocole CIBus, **entourer** sur DR9 :

- **Indiquer** AP sous le champ correspondant à l'adresse physique du capteur ;
- **Indiquer** VM sous le « DDFFi » correspondant aux mesures du vent moyen pour deux minutes.

En **déduire** la direction et la vitesse du vent pour cette mesure.

--

Étude de la signalisation d'un défaut de positionnement de la nacelle

La nacelle s'oriente en fonction de la direction du vent (Yaw). Sa position est mesurée par un encodeur (voir DT21). Un avertissement de défaut est signalé à l'équipe de maintenance sur la supervision locale au niveau du mouvement horaire de la nacelle. Les valeurs attendues, renvoyées par le capteur pour 4 positions différentes, lors d'un fonctionnement normal, sont données dans la table de vérité ci-dessous :

Pos	Aant	Aact	Bant	Bact
1	0	1	0	0
2	1	1	0	1
3	1	0	1	0
4	0	0	1	0

Aant = Position antérieure du signal A

Aact = Position actuelle du signal A

Bant = Position antérieure du signal B

Bact = Position actuelle du signal B

Question 2.22

Voir DT22

DR10

En vous aidant des chronogrammes (positions 1 à 4), **déterminer** les codes binaires manquants (pos 3 et 4) sur le document réponse DR10.

En **déduire** le numéro de position en défaut. **Proposer** une solution de dépannage pour l'équipe de maintenance.

--

Conclusion sur la supervision

Question 2.23

Conclure sur les solutions technologiques mises en place pour assurer une production d'énergie optimale.

--