BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2026

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INDUSTRIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Ingénierie, innovation et développement durable

INNOVATION TECHNOLOGIQUE ET ÉCOCONCEPTION

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 28 pages numérotées de 1/28 à 28/28.

Constitution du sujet :

Partie commune (durée indicative 2h30)	14 points
Partie spécifique (durée indicative 1h00)	6 points

Le candidat traite les 2 parties en suivant les consignes contenues dans le sujet.
Ces 2 parties sont indépendantes et peuvent être traitées dans un ordre indifférent.

Chacune des parties est traitée sur des copies séparées.

Tous les documents réponses sont à rendre avec la copie.

PARTIE COMMUNE (14 points)

Station hydro-éolienne de l'île d'El Hierro

- Présentation de l'étude et questionnement..... pages 3 à 9
- Documents techniques ..... pages 10 à 15
- Documents réponses..... page 16

Mise en situation

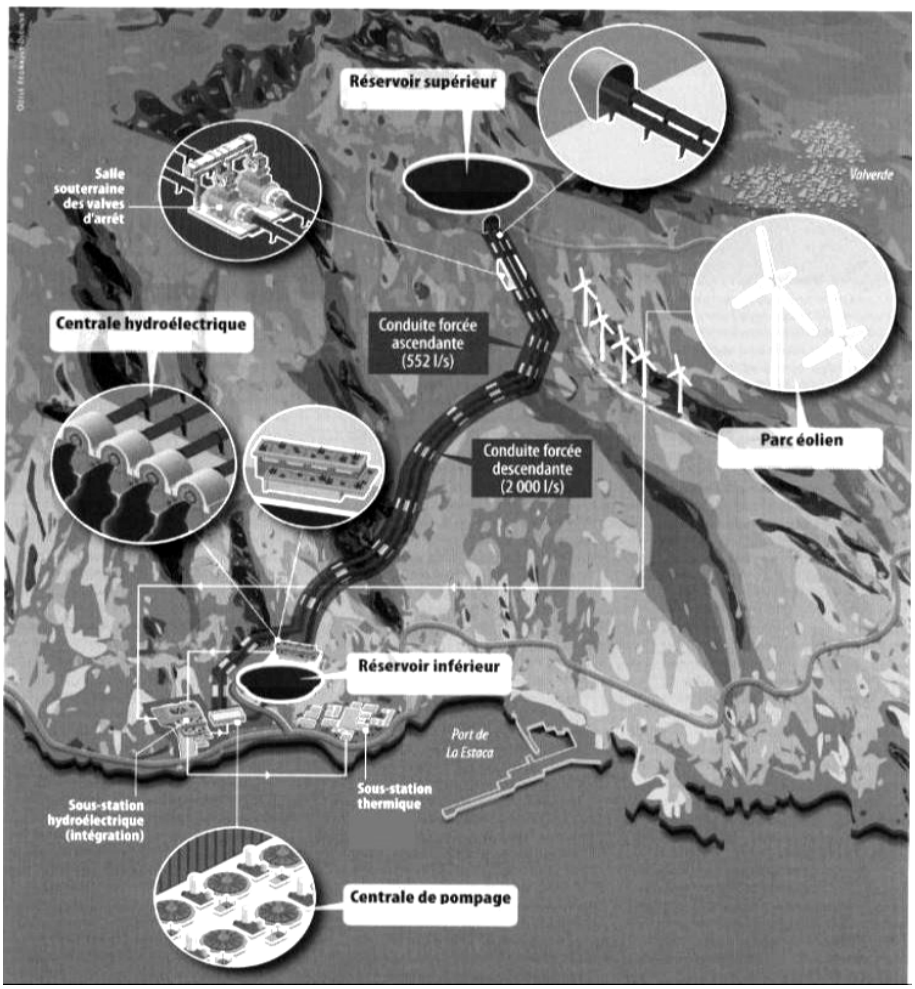
El Hierro est une île volcanique des Canaries, aux pentes abruptes et escarpées, façonnée par le vent et aux versants balayés en permanence par celui-ci. D'une surface de 278 km², elle est peuplée de 10 700 habitants et reçoit environ 2 500 touristes par mois.

Avec la profondeur des fonds sous-marins autour et même entre les îles des Canaries, El Hierro est totalement isolée d'un point de vue électrique.

La consommation annuelle de l'île est de 42 GW·h avec des appels de puissance variant de 2,5 à 7,5 MW.

Jusqu'en 2014, la production électrique était intégralement assurée par une centrale thermique fonctionnant au diesel. Depuis juin 2014, une station hydro-éolienne a été implantée pour réduire la dépendance de l'île au diesel importé.

SCHÉMA DE L'IMPLANTATION DE LA STATION HYDROÉOLIENNE D'EL HIERRO



Ce site de production d'électricité renouvelable comprend un parc éolien constitué de cinq éoliennes et une centrale hydroélectrique qui tire profit du dénivelé rapide de l'île volcanique. En effet, deux réservoirs de rétention d'eau ont été creusés pour alimenter la centrale. Le réservoir supérieur est rempli grâce à des pompes qui remontent l'eau du réservoir inférieur. C'est un système de Station de Transfert d'Energie par Pompage (STEP).

Travail demandé

Partie 1 – Pourquoi la station hydro-éolienne s'inscrit-elle dans une démarche de développement durable ?

L'objectif est de vérifier la capacité du réservoir supérieur de la station hydro-éolienne.

La station hydro-éolienne doit permettre à l'île d'El Hierro de garantir son indépendance énergétique comme présenté dans le DT1.

Question 1.1 DT1	**Identifier**, dans le diagramme des exigences de l'autonomie de la station hydro-éolienne, un argument (id 1.1 à 1.5) inscrivant l'exploitation de ce site de production d'électricité dans chacun des trois piliers du développement durable suivants : - une démarche environnementale ; - une démarche sociétale ; - une démarche économique.

Une part importante de la consommation d'électricité de l'île d'El Hierro est utilisée pour alimenter une station de dessalement de l'eau de mer.
L'eau dessalée est essentielle pour l'île, car elle permet d'assurer l'irrigation des terres agricoles. Cette eau douce est stockée dans les réservoirs, en particulier dans le réservoir supérieur auxquels sont reliés les systèmes d'irrigation de l'île.

Question 1.2 DT1, DT2	**Relever** le volume attendu pour le réservoir supérieur. **Comparer** ce volume à l'exigence en eau douce pour l'agriculture.

Lors des travaux de terrassement pour la construction du réservoir supérieur, des problématiques de terrain n'ont pas permis d'atteindre le volume initialement prévu.

Question 1.3 DT1, DT3	**Calculer** le volume réel du réservoir V_{Sup} en considérant une forme rectangulaire et une profondeur constante de 12 m. **Conclure** sur le respect de l'exigence en eau pour l'agriculture.

Partie 2 – La centrale hydroélectrique de la station répond-t-elle aux appels de puissance électrique de l'île ?

L'objectif est de vérifier si la centrale hydroélectrique peut répondre aux appels de puissance électrique de l'île.

La centrale hydroélectrique de la station est un système de station de transfert d'énergie par pompage (STEP). Le système peut fonctionner en pompage ou en turbinage.

Fonctionnement en pompage : quand la demande en électricité est inférieure à la production, la STEP utilise l'électricité excédentaire des éoliennes pour pomper de l'eau du réservoir inférieur vers le réservoir supérieur.
L'eau stockée dans le réservoir supérieur constitue ainsi une réserve d'énergie sous forme d'énergie potentielle.

Fonctionnement en turbinage : quand la demande en électricité est supérieure à la production des éoliennes, l'eau redescend du réservoir supérieur dans une conduite forcée. La STEP actionne mécaniquement une turbine qui va entraîner un alternateur. Ce fonctionnement va générer une production électrique qui pourra alimenter l'île pour pallier l'intermittence des éoliennes.

Question 2.1 DR1	**Compléter** la chaîne d'énergie de la STEP en turbinage.

L'énergie potentielle de turbinage est donnée par la formule :

$$\mathbf{W_p = m \times g \times h}$$

W_p : énergie potentielle en J (3600 J = 1 W·h)
m : masse en kg
g : accélération due à la pesanteur (g = 9,81 $m \cdot s^{-2}$)
h : hauteur de chute en m

L'énergie maximale disponible par turbinage de la STEP est limitée par le volume du plus petit des 2 réservoirs (ici le réservoir inférieur).

La masse volumique de l'eau est ρ = 1000 $kg \cdot m^{-3}$ avec $\rho = \frac{m}{V}$ et V : volume en m^3.

Question 2.2 DT2	**Déterminer** la hauteur de chute entre les 2 réservoirs. **Calculer** l'énergie potentielle maximale de turbinage W_{pmax} en MW·h.

Le rendement du turbinage est égal à 0,85.

Question 2.3	**Calculer** l'énergie électrique maximale W_{emax} produite par la STEP en MW·h.

L'énergie maximale de turbinage de la station hydro-éolienne est fixée pour la suite du travail à 230 MW·h. La consommation électrique annuelle de l'île est de 42 GW·h.

Question 2.4	**Déterminer** la consommation électrique journalière de l'île. **Comparer** cette consommation avec l'énergie maximale de turbinage.

Les appels de puissance électrique sur l'île peuvent atteindre 7,5 MW. Les turbines de la STEP doivent être capables de fournir une puissance suffisante pour répondre à ces appels.

Question 2.5 DT2	**Calculer** la puissance maximale de la STEP en turbinage. **Conclure** sur la réponse de la STEP aux appels de puissance électrique.

Partie 3 – La station hydro-éolienne permet-elle d'atteindre les objectifs fixés par les exploitants ?

L'objectif est de valider les gains environnementaux apportés par la station hydro-éolienne.

La production électrique des éoliennes pour les années 2023 et 2024 est présentée dans le DT4.

Question 3.1 DT4	**Relever** le mois de plus forte production et le mois de plus faible production pour les deux années.

Le DT5 montre le bilan de la production électrique de l'île pour l'année 2024.

Question 3.2 DT1, DT5 DR2	**Compléter** les valeurs de production sur le DR2. **Calculer** la part des énergies renouvelables dans la production totale pour les 3 périodes identifiées dans le DR2. **Conclure** sur le respect de l'exigence.

Le DT6 détaille l'intensité carbone de différents moyens de production énergétique.

Question 3.3 DT5, DT6	**Relever** les émissions de CO_2 par kW·h pour les 2 modes de production énergétique utilisés sur l'île. **Calculer** les émissions de CO_2 globale de la production électrique de l'île pour l'année 2024.

Avant l'ouverture de la station hydro-éolienne, la production électrique de l'île était uniquement assurée par la centrale thermique fonctionnant au diesel.

Question 3.4 DT1, DT6	**Calculer** les émissions de CO_2 si l'île avait uniquement utilisé la centrale diesel en 2024. **En déduire** le gain en émissions de CO_2 pour l'année 2024. **Conclure** sur le respect de l'exigence.

Partie 4 – La technologie V2G peut-elle répondre à l'accroissement de l'autonomie énergétique de l'île ?

L'objectif est de vérifier si la technologie V2G peut répondre à l'accroissement de l'autonomie énergétique de l'île de 2 à 4 jours après l'utilisation des véhicules en cycle urbain.

Une des solutions envisagées pour atteindre l'autonomie complète de l'île est la technologie V2G (Vehicle-To-Grid). Cette technologie consiste à augmenter l'énergie de stockage en connectant des véhicules électriques au réseau. Ainsi, la batterie d'une voiture électrique est envisagée comme une extension du réseau de distribution, une unité de stockage dans lequel le fournisseur d'électricité peut puiser ponctuellement.

Une étude statique sur un véhicule électrique lors d'un déplacement à vitesse constante dans le contexte de l'ile d'El Hierro est présentée dans le DT7.

Le bilan des forces au véhicule en projection sur l'axe $\vec{x}$ détermine l'expression de la force motrice nécessaire au déplacement : $F_{motrice} = F_{trainée} + F_{roulement} + P_x$

La relation entre la pente p en % et l'angle α en ° est $p = 100 \times \tan(\alpha)$.

La composante du poids projetée sur l'axe $\vec{x}$ est $P_x = m \times g \times \sin(\alpha)$.

Question 4.1	**Calculer** la composante du poids P_x pour un angle d'inclinaison correspondant à une pente de 5 %. **En déduire** la force motrice $F_{motrice}$ nécessaire au déplacement sur une pente à 5 %.

La vitesse moyenne lors des trajets domicile travail est ici estimée à 40 $km \cdot h^{-1}$. La force motrice est égale à 1 000 N.

La puissance mécanique nécessaire au déplacement peut être calculée à l'aide de la relation suivante :

$$\mathbf{P = F \times V}$$

P : puissance mécanique en W
F : force motrice en N
V : vitesse du déplacement en $m \cdot s^{-1}$

Le rendement global de l'ensemble batterie - roues est de 80 %.

Question 4.2	**Calculer** la puissance mécanique P nécessaire au déplacement. **En déduire** la puissance électrique P_e fournie au moteur.

La durée d'un trajet moyen domicile travail est estimée à 25 minutes. La puissance électrique moyenne absorbée par le moteur a été mesurée à 14 000 W lors du trajet aller.

Grâce à la récupération d'énergie en descente et en freinage, le trajet retour consomme 35 % d'énergie en moins que le trajet aller. L'énergie électrique emmagasinée du pack batteries du véhicule électrique est de 41 kW·h.

Question 4.3 | **Déterminer** les énergies nécessaires aux trajets aller et retour, notées respectivement W_{aller} et W_{retour} en kW·h.

En déduire l'énergie restante, W_{rest} en kW·h, permettant d'alimenter le réseau électrique d'El Hierro sachant que la batterie ne doit pas se décharger au-delà de 80 % de sa capacité totale.

Le réservoir supérieur n'offre qu'une autonomie de 3 jours à la centrale hydroélectrique. L'utilisation de la technologie V2G doit accroître l'autonomie énergétique de l'île de 2 jours supplémentaires.

La consommation de puissance moyenne vaut 5,2 MW pour une population de 11 000 habitants.

Pour une voiture, l'énergie restante moyenne permettant d'alimenter le réseau électrique de l'île est estimée à 23 kW·h.

Question 4.4 | **Calculer** l'énergie nécessaire, W_{supp} en kW·h, pour accroître l'autonomie énergétique de l'île de 2 jours supplémentaires.

En déduire le nombre de voitures nécessaires permettant de fournir l'énergie nécessaire.

Conclure sur la réponse de la technologie V2G à l'accroissement de l'autonomie énergétique de l'île d'El Hierro.

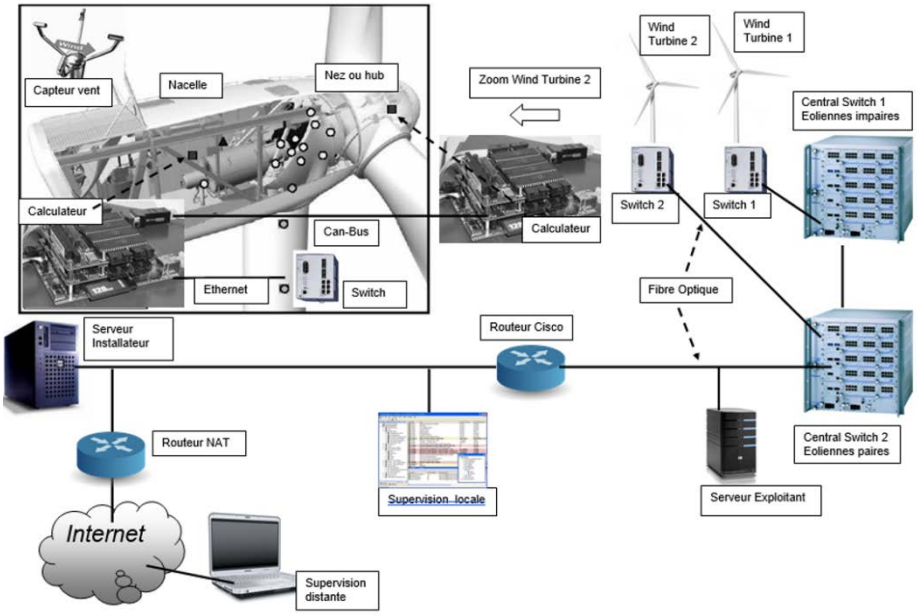
Partie 5 - Comment le système d'information permet-il la supervision du parc éolien ?

L'objectif est de valider la surveillance du parc éolien par le système d'information.

Le système d'information du parc éolien est structuré en plusieurs réseaux distincts :

- réseau installateur : c'est le réseau interne à chaque éolienne, incluant notamment la nacelle et le mât ;
- réseau exploitant : c'est le réseau intranet du parc, assurant la communication entre les différentes éoliennes et le centre de contrôle ;
- réseau de gestion : c'est le réseau d'accès externe, permettant la connexion avec des systèmes ou entités situés en dehors du parc.

Une représentation simplifiée de l'architecture du système d'information est présentée ci-dessous :



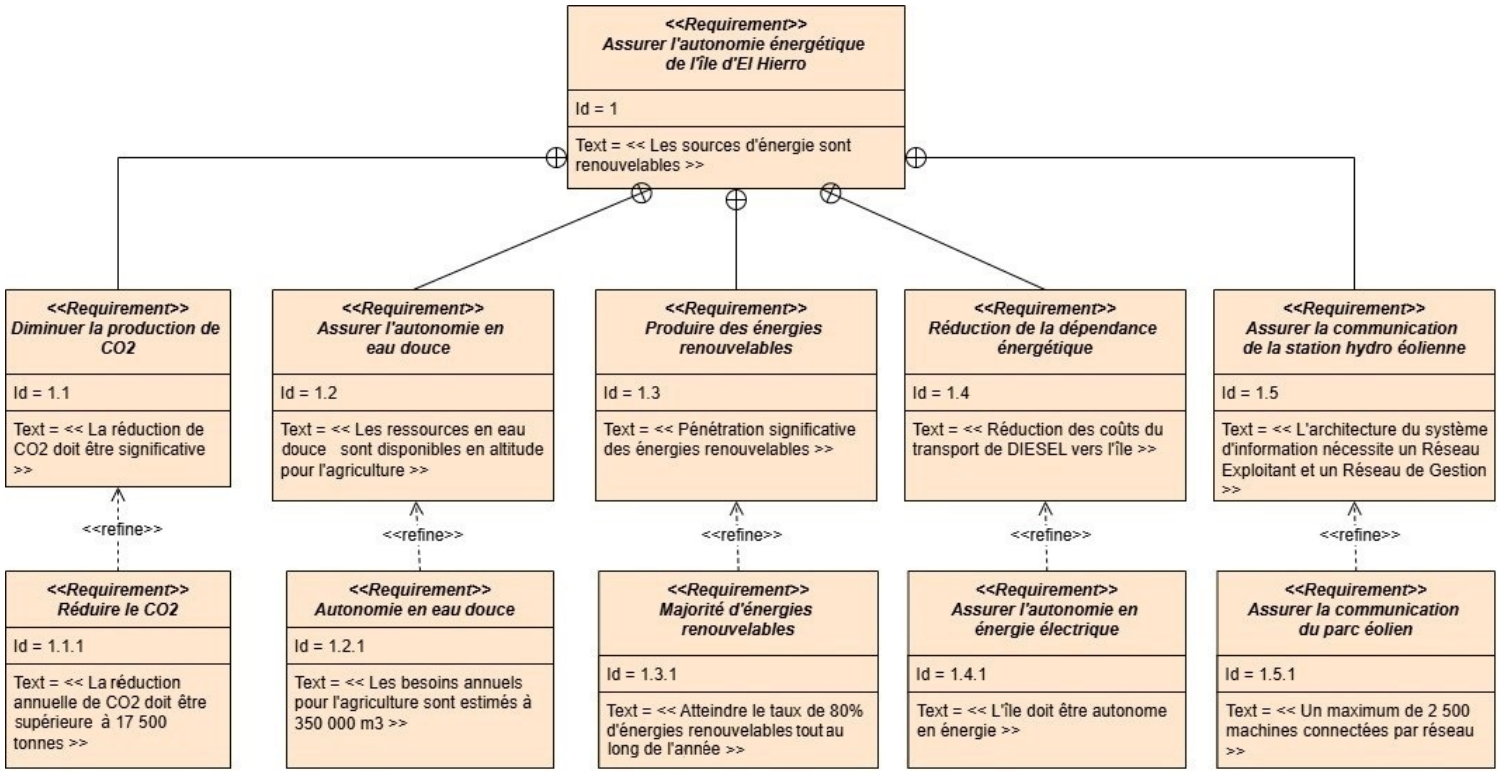
Question 5.1 DT8	**Relever** l'adresse IP de l'éolienne 5 sur le réseau exploitant.
Question 5.2 DT1	**Justifier** que le masque de sous-réseau du réseau exploitant est 255.255.240.0. **Indiquer** pour le réseau exploitant, les adresses IP suivantes : première machine ; dernière machine ; diffusion (Broadcast).
Question 5.3 DT1	**Déterminer** le nombre maximum de machines adressables sur le réseau exploitant. **Conclure** sur le respect de l'exigence.

Des capteurs de température sont utilisés pour surveiller la température des composants mécaniques de l'éolienne (génératrice, réducteur…). Un échauffement de ces composants au-dessus de 80 °C déclenche par sécurité une alerte au niveau du service de maintenance.

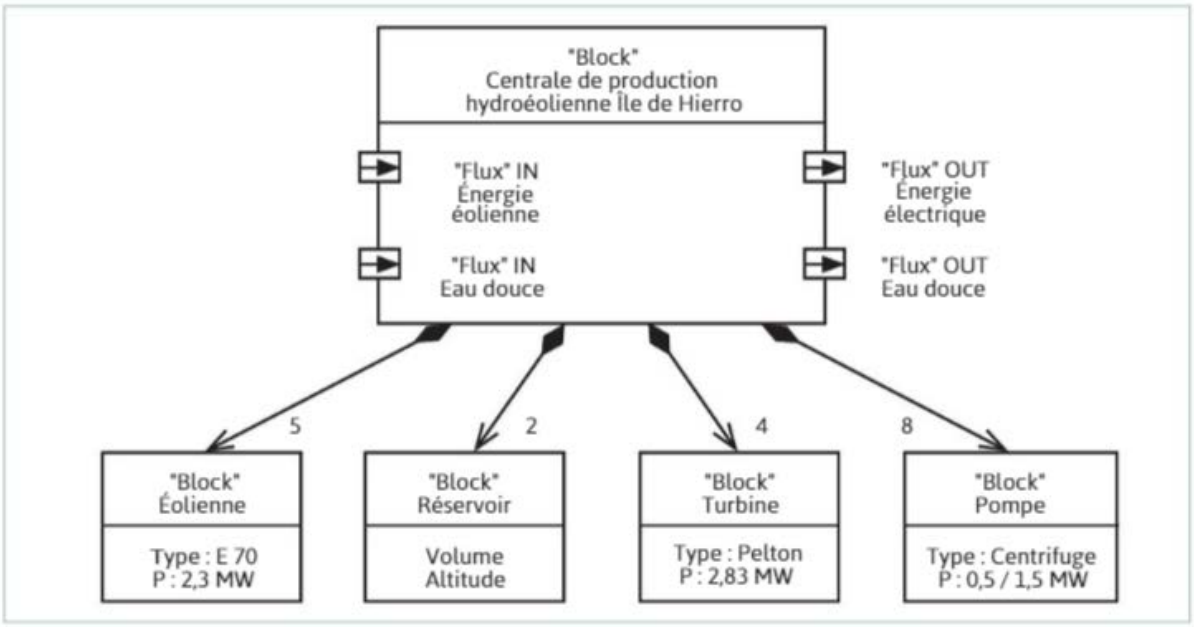
Un analyseur de trame a récupéré les données transmises par l'éolienne 5. La valeur binaire transmise pour la température du réducteur est $(01100111)_2$.

Question 5.4 DT9	**Déterminer** la valeur de cet octet en décimal. **En déduire** la température au niveau du réducteur. **Conclure** sur la présence éventuelle d'un échauffement mécanique anormal à cet instant.

DT1 – Diagramme des exigences de la station hydro-éolienne

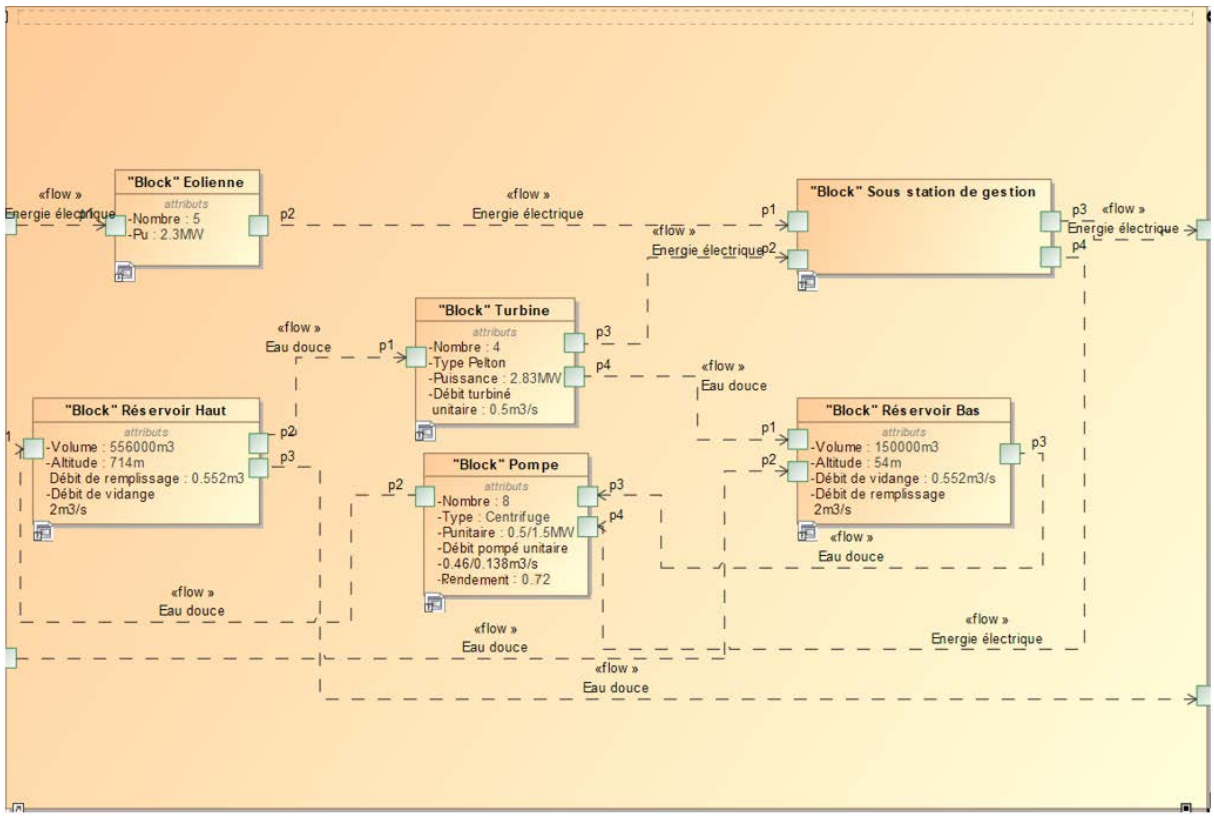


DT2 – Diagramme de définition de blocs



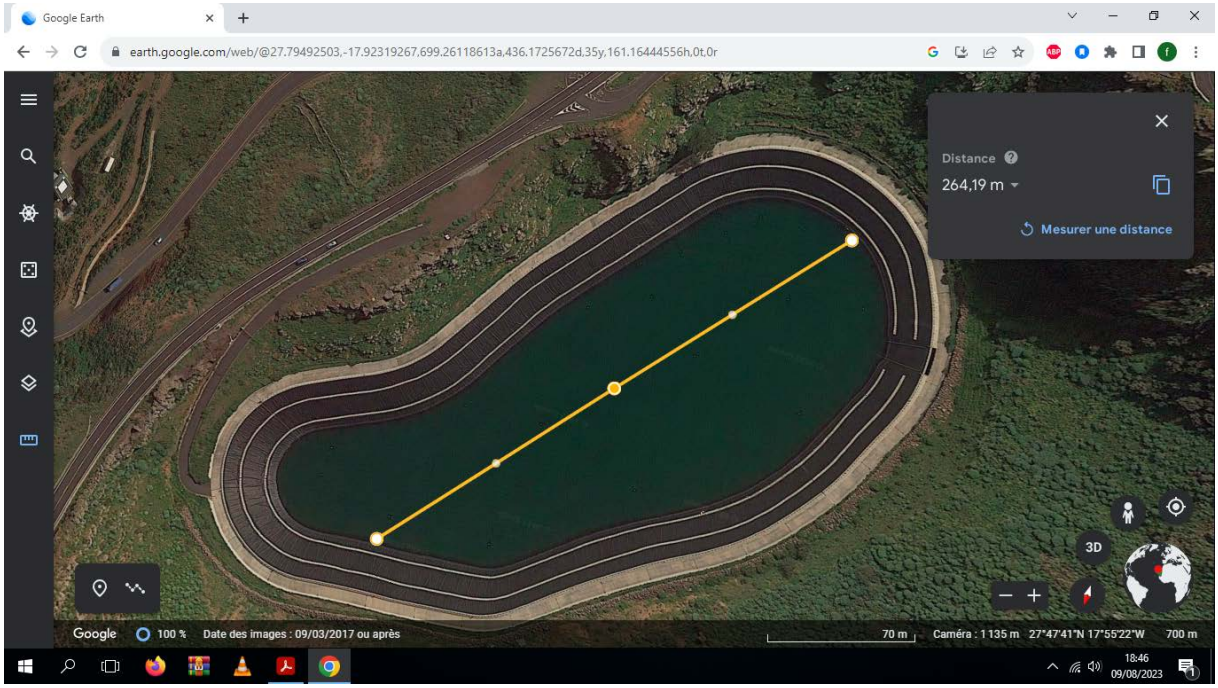
« Block » détaillé

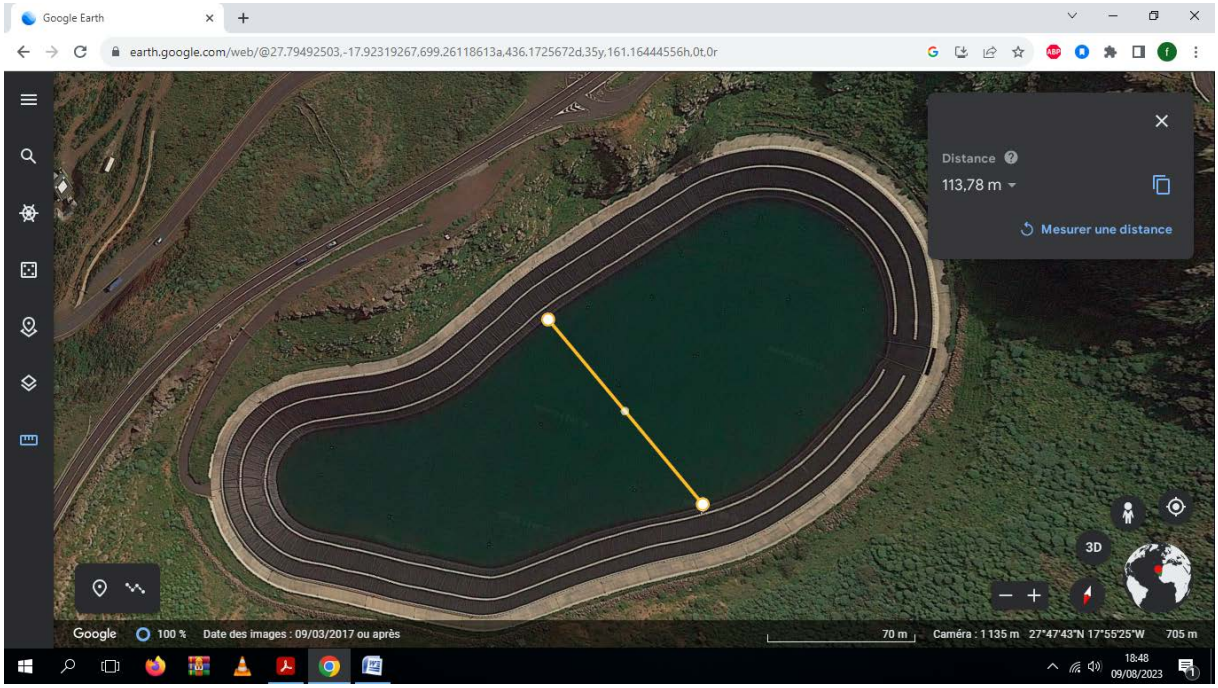
Centrale de production hydro-éolienne île d'EL HIERRO



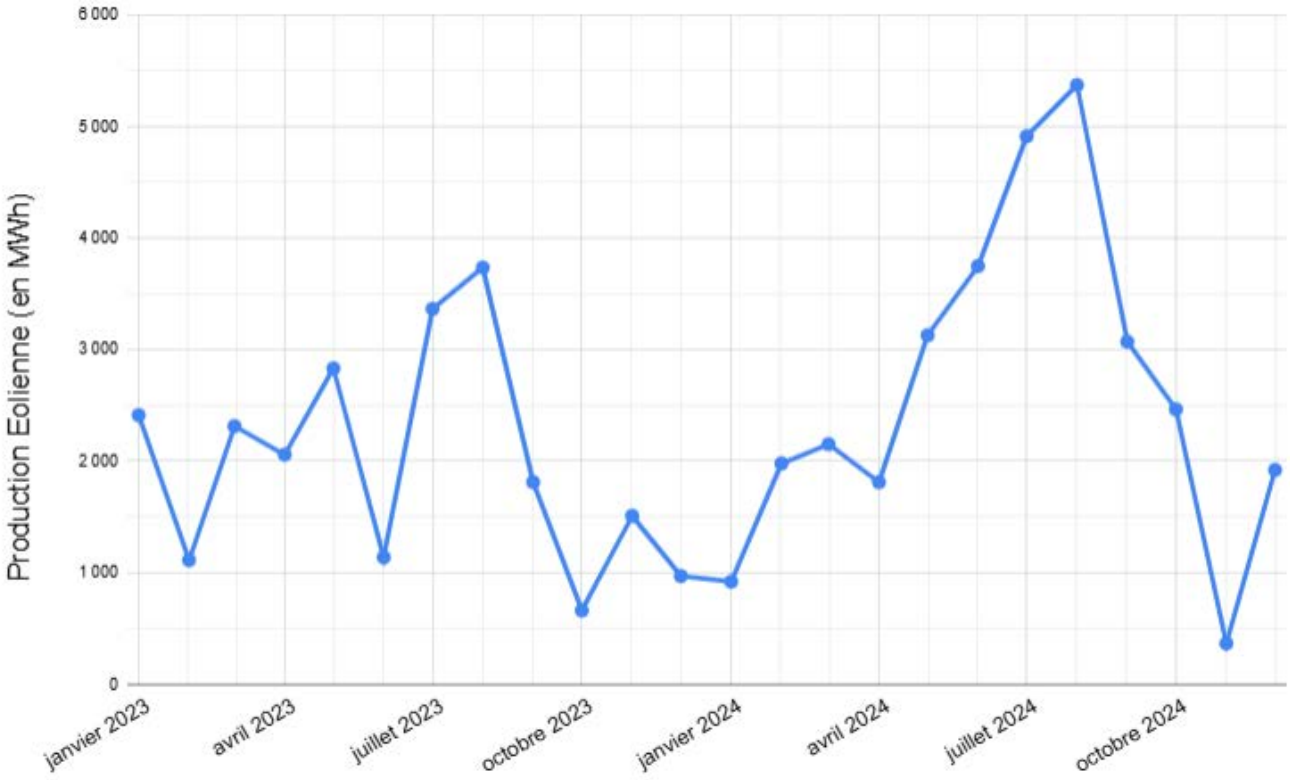
Le réservoir haut correspond au réservoir supérieur et le réservoir bas au réservoir inférieur.

DT3 – Réservoir supérieur





DT4 – Production mensuelle des éoliennes de l'île



DT5 – Bilan de la production électrique de l'île (Année 2024)

Mois	Production Electrique Totale (en MWh)	Production Centrale Diesel (en MWh)	Production Eoliennes (en MWh)
janvier 2024	4 612	3 692	920
février 2024	4 810	2 830	1 980
mars 2024	5 394	3 242	2 152
avril 2024	4 882	3 070	1 812
mai 2024	5 402	2 274	3 128
juin 2024	5 450	1 702	3 748
juillet 2024	6 119	1 208	4 911
août 2024	6 460	1 089	5 371
septembre 2024	5 466	2 395	3 071
octobre 2024	6 483	4 019	2 464
novembre 2024	4 039	3 672	367
décembre 2024	4 560	2 639	1 921
Total Année 2024	**63 677**	**31 832**	**31 845**

DT6 – Intensité carbone par mode de production

Mode de production énergétique	Intensité carbone (en g CO_2 eq par kW·h)
Biomasse	230
Charbon	1 236
Diesel	956
Eolien	13
Gaz	547
Solaire	26

DT7 – Étude statique du véhicule électrique

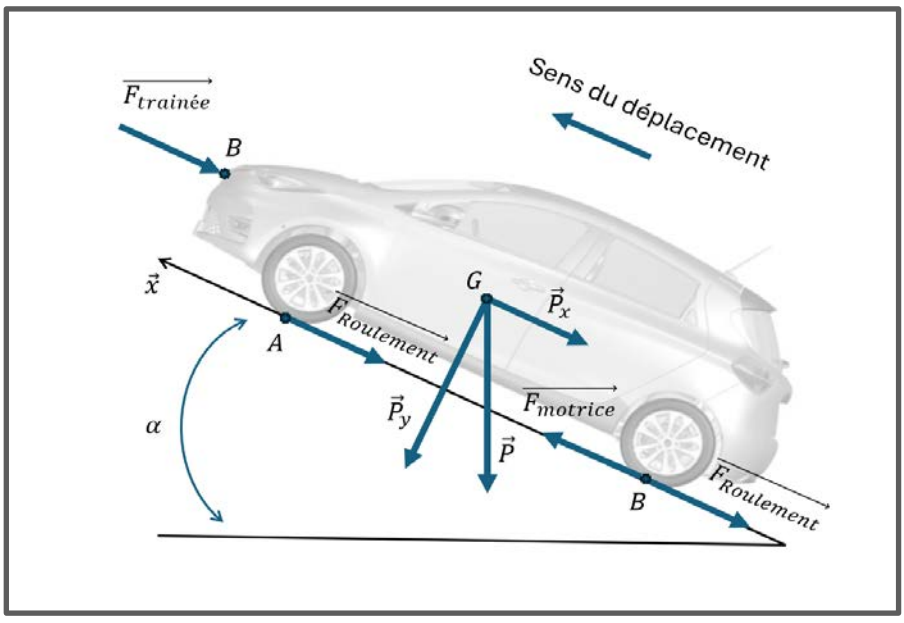
L'étude est réalisée lorsque le véhicule monte une pente de 5 % à la vitesse constante de 40 km·h^{-1}.

La masse totale du véhicule et de son pilote est m = 1500 kg.

L'accélération de la pesanteur est g = 9,81 m·s^{-2}.

La résistance totale au roulement est $F_{roulement}$ = 178 N

La résistance aérodynamique est $F_{trainée}$ = 55,5 N



DT8 – Système d'information

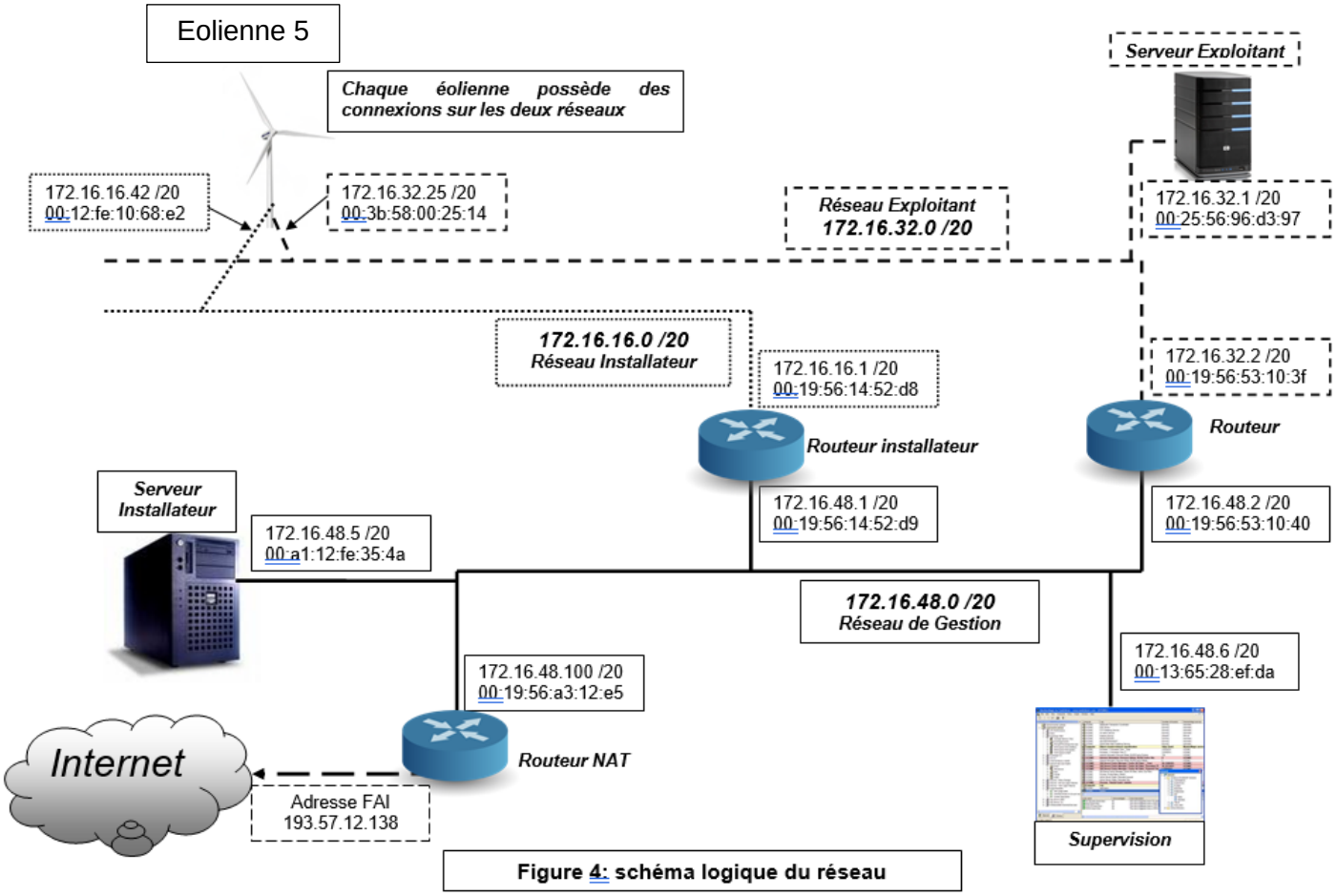
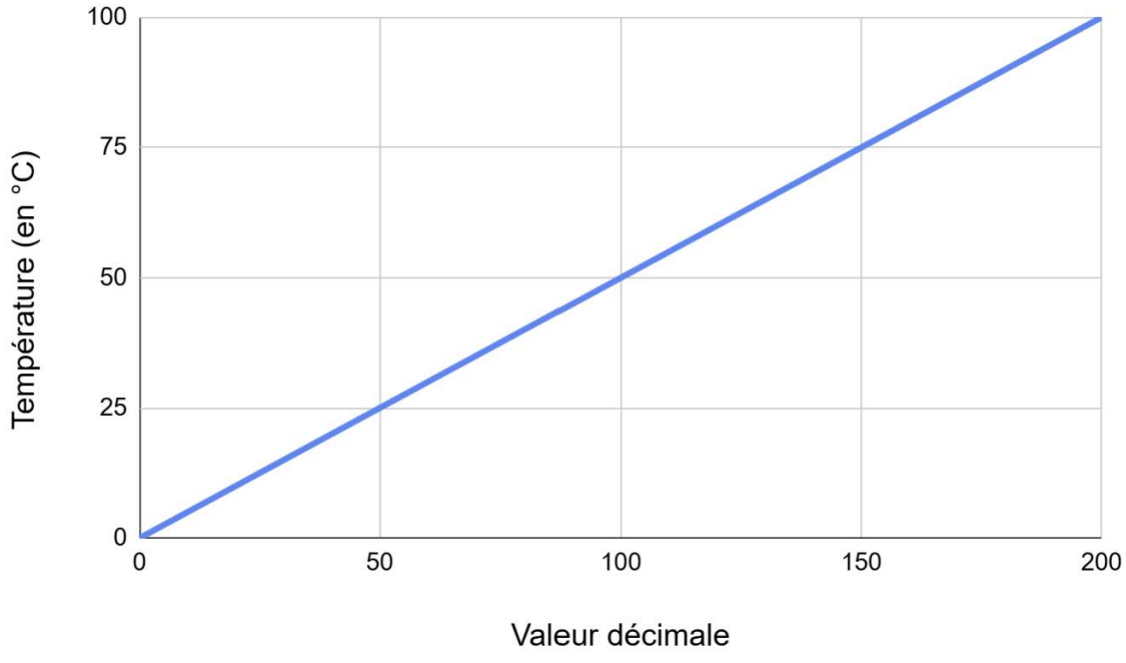
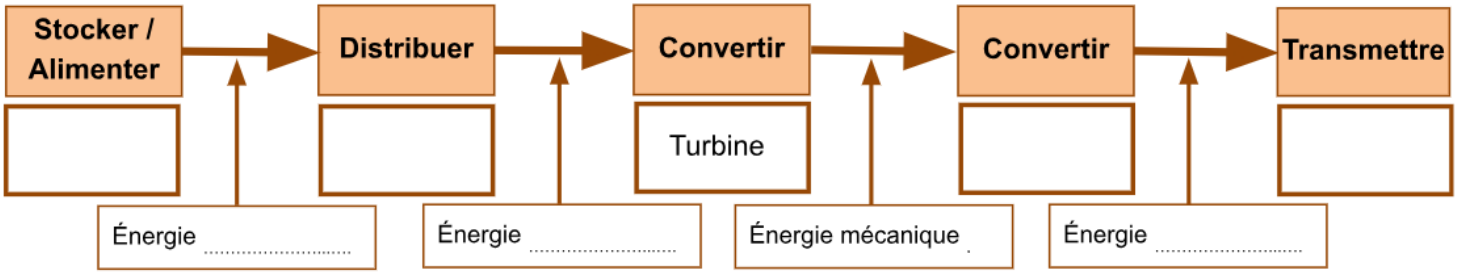


Figure 4: schéma logique du réseau

DT9 – Courbe de conversion du capteur de température



DR1 – Chaîne d'énergie de la STEP en turbinage



Constituants impliqués : conduite forcée, réseau électrique, alternateur, réservoir supérieur

Types d'énergie impliqués : électrique, hydraulique, potentielle

DR2 – Part des énergies renouvelables dans la production électrique

	Production électrique totale (MW·h)	**Production éolienne (MW·h)**	**Part des énergies renouvelables (%)**
Juillet 2024			
Décembre 2024			
Année 2024			

PARTIE SPÉCIFIQUE (6 points)

INNOVATION TECHNOLOGIQUE ET ÉCOCONCEPTION

- Présentation de l'étude et questionnement..... pages 18 à 20
- Documents techniques ..... pages 21 à 26
- Documents réponses..... pages 27 à 28

Mise en situation

L'éolienne Enercon E-70 qui constitue le parc éolien de l'île d'El Hierro, est un système qui permet de transformer l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique à l'aide de ses pales, qui mettent en rotation un rotor. Cette énergie mécanique est ensuite transformée en énergie électrique grâce à un alternateur dans la nacelle.

Afin de garantir une production optimale et de répondre aux besoins énergétiques de l'île, il est essentiel de s'assurer du bon fonctionnement de ces éoliennes. Pour cela, une attention particulière est portée aux systèmes de réglage du pas des pales et d'orientation de la nacelle, tout en vérifiant la tenue mécanique de la structure des éoliennes face aux conditions climatiques de l'île d'El Hierro.

Travail demandé

Partie A – Comment dimensionner les vérins hydrauliques dédiés au réglage du pas des pales des éoliennes ?

L'objectif est de dimensionner les vérins hydrauliques pour exercer les efforts nécessaires et ajuster l'angle des pales de manière efficace et sécurisée.

Le rendement d'une éolienne repose en grande partie sur sa capacité à optimiser l'extraction de l'énergie du vent tout en assurant la sécurité et la durabilité de ses composants. L'un des paramètres clés influençant cette performance est l'angle de calage des pales, aussi appelé pitch.

Le contrôle de l'angle de calage des pales permet :

- L'optimisation de la production d'énergie, en ajustant l'angle des pales, la puissance captée est maximisée en fonction de la vitesse du vent ;
- La protection de l'éolienne, en cas de vents trop forts, l'ajustement de l'angle permet de limiter la vitesse de rotation du rotor afin d'éviter les surcharges mécaniques et électriques.

Dans le contexte de l'île d'El Hierro (vents forts fréquents, maintenance limitée et nécessité de sécurisation passive en cas de coupure de courant), le bureau d'études a choisi de mettre en place un système de calage du pas par vérin hydraulique.

Question A.1 DTS1, DTS2 DRS1	**Déterminer** les liaisons entre le corps du vérin et sa tige ainsi que la liaison entre la tige du vérin et l'embase des pales. **Représenter** ces liaisons sur le DRS1.

Question A.2 DTS3	**Relever** les deux positions angulaires extrêmes des pales, notées α_1 et α_2. **Déduire,** à partir de ces deux positions, le débattement angulaire nécessaire pour le calage des pales.

Question A.3 DRS1	À partir de la loi entrée-sortie du mécanisme sur le DRS1 et des positions angulaires extrêmes des pales, **calculer** x_1 et x_2, les longueurs qui correspondent respectivement aux angles minimum et maximum de calage des pales, α_1 et α_2. **Déterminer** la course nécessaire pour le calage des pales en complétant le DRS1.

La valeur maximale de la force F_{max} fournie par le vérin peut être relevée à partir de la simulation du DTS4. La pression hydraulique disponible pour l'alimentation du vérin est de 20 MPa.

Question A.4 DTS2, DTS4	**Calculer** le diamètre D du piston permettant de générer F_{max}. **Conclure** sur la gamme des vérins hydrauliques retenue.

Partie B – Comment valider la solution électromécanique dédiée au positionnement de la nacelle ?

L'objectif est de valider le choix des composants assurant l'orientation de la nacelle et la capacité à transmettre le couple nécessaire dans les conditions de fonctionnement de l'éolienne.

Le contrôle de l'angle de la nacelle permet à l'éolienne de s'orienter face au vent pour maximiser la production d'énergie. L'ajustement de l'orientation de la nacelle en fonction de la direction du vent, garantit une performance optimale. Un mauvais contrôle de cet angle peut entraîner des pertes de rendement et des risques de surcharge.

Pour prédire le comportement de la solution électromécanique permettant le positionnement de la nacelle, les relevés de simulation de l'éolienne sont disponibles (DTS4). À partir des relevés, le résultat suivant est obtenu avec un couple nécessaire au démarrage de la nacelle : $C_{max} = 2 \times 10^6\ N \cdot m$

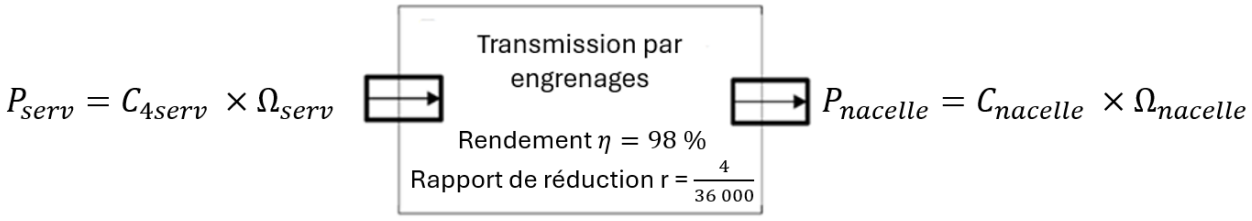
Quatre servomoteurs entrainent une couronne dentée solidaire de la nacelle pour positionner la nacelle (DTS5). Le DTS6 recense les caractéristiques techniques des servomoteurs NX860VAF utilisés pour régler l'angle de la nacelle (yaw).

Question B.1 DTS6	**Relever** la valeur Cserv du couple en rotation lente fourni par un servomoteur**.** **En déduire** la valeur de C4serv du couple fourni par les 4 servomoteurs.

Question B.2	**Comparer** C4serv et Cmax**.** **Justifier** sur l'intérêt d'interposer un réducteur de vitesse en sortie de motorisation.

Le rapport de réduction entre les servomoteurs et la nacelle est r = $\frac{4}{36\,000}$.

Le bilan de puissance de la transmission mécanique est représenté ci-dessous :



- Ω_{serv} et $\Omega_{nacelle}$ sont respectivement les vitesses angulaires des servomoteurs et de la nacelle.

- P_{serv} et $P_{nacelle}$ sont respectivement les puissances des servomoteurs et de la nacelle.

- $C_{nacelle} = \eta \times \frac{C_{4serv}}{r}$

Question B.3 | À partir du bilan de puissance ci-dessus, **calculer** le couple transmis à la nacelle $C_{nacelle}$ en N·m lors d'une rotation lente.

Conclure vis-à-vis du choix des servomoteurs.

Partie C – Comment vérifier que le mât de l'éolienne résiste aux efforts mécaniques sur l'île d'El Hierro ?

L'objectif est de vérifier la résistance du mât de l'éolienne face aux efforts mécaniques engendrés par les conditions de vent sur l'île d'El Hierro.

Pour vérifier la résistance mécanique du mât de l'éolienne, il est nécessaire de modéliser les actions mécaniques exercées par le poids de la nacelle et des pales, ainsi que celles dues au vent s'appliquant sur les pales et sur le mât de l'éolienne.

Hypothèses :

- L'accélération de la pesanteur : g = 9,81 m·s^{-2}
- Dans le cas de vents violents : V_{vent} = 30 m·s^{-1}
- La pression exercée par le vent est répartie sur le mât
- La force résultante du vent sur le mât : $F_{mât}$ = 250 kN

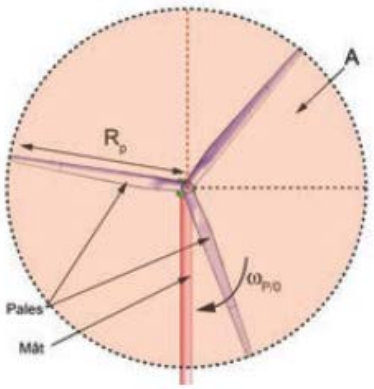
Données nécessaires :

- La masse de la nacelle et du rotor : M_{n+r} = 190 tonnes.

- Les efforts aérodynamiques sur les pales sont modélisés par une force F_{pales} avec pour expression : $F_{pales} = \frac{1}{2} \times \rho_{air} \times A \times V_r^2 \times C$

  avec :

  - masse volumique de l'air ρ_{air} = 1,225 kg·m^{-3}
  - rayon des pales de l'éolienne R_p = 35 m
  - surface balayée par les pales A en m²
  - vitesse relative des pales V_r = 66,8 m·s^{-1}
  - coefficient de traînée C estimé à 1,6 dans les cas défavorables



Question C.1 DRS2	**Calculer** les efforts aérodynamiques sur les pales F_{pales} et le poids P_{n+r} de l'ensemble {nacelle + rotor}. **Représenter** les actions mécaniques s'appliquant à l'éolienne aux différents points indiqués sur la représentation simplifiée du DRS2.

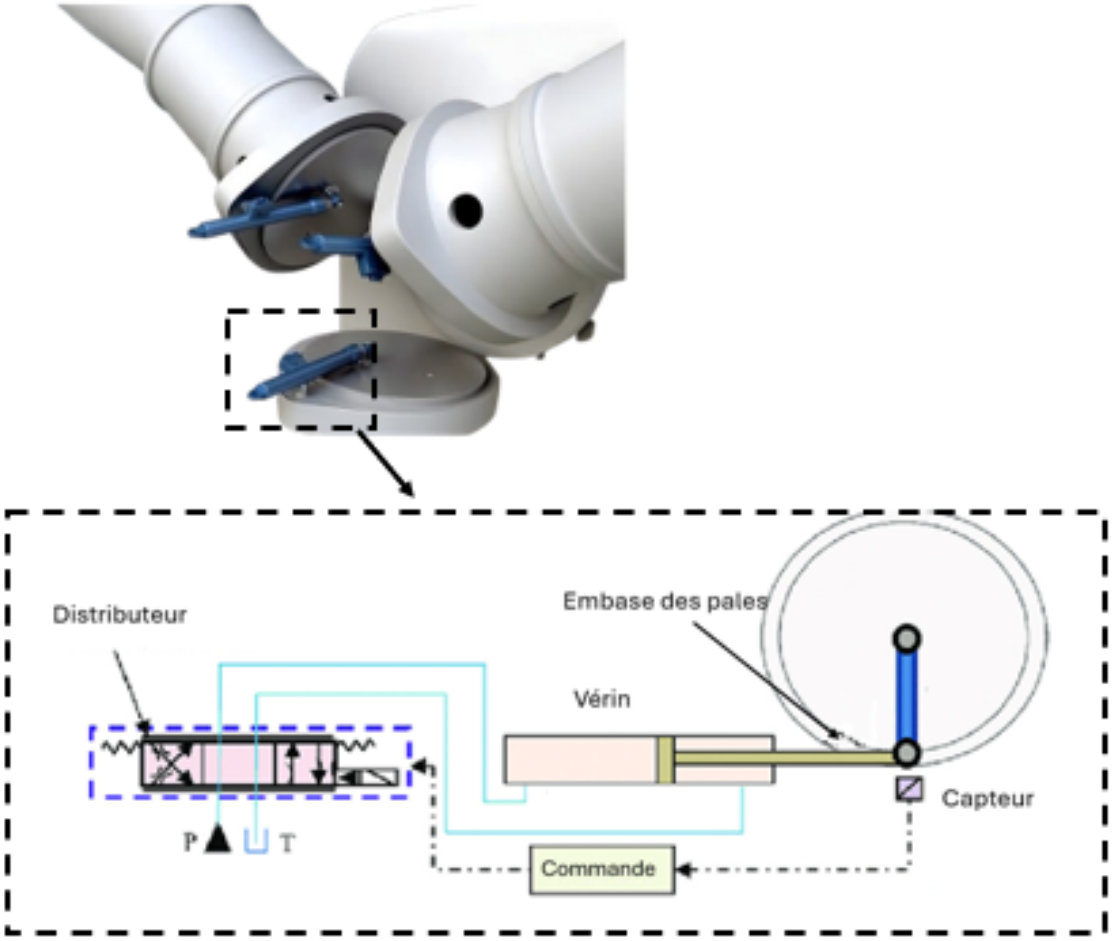
En raison de sa géométrie, le mât de l'éolienne peut être considéré comme une poutre.

Question C.2	**Déterminer** les sollicitations mécaniques auxquelles est soumis le mât.

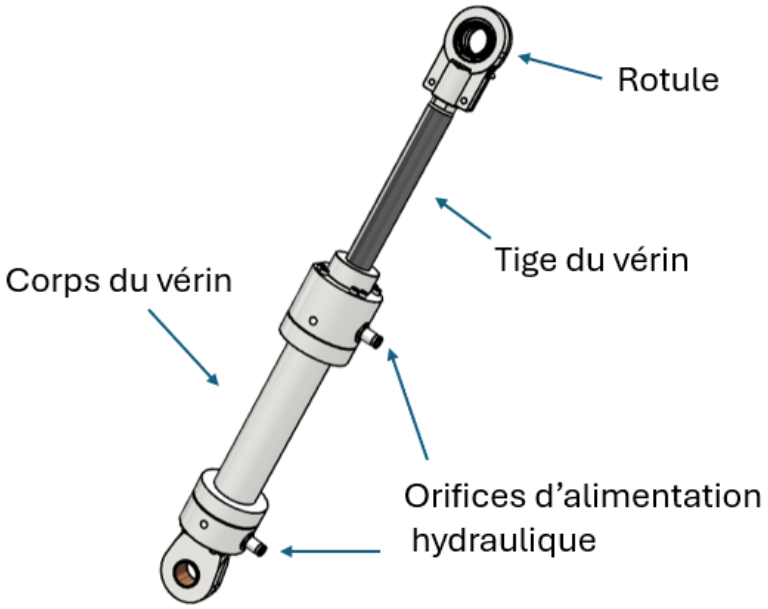
Afin de vérifier la résistance mécanique du mât, une simulation statique par éléments finis sur SolidWorks est réalisée.

Question C.3 DTS7	**Identifier** la contrainte maximale ainsi que le déplacement maximal. **Conclure** quant à la résistance mécanique du mât en tenant compte d'un coefficient de sécurité de 2,5.

DTS1 – Mécanisme de contrôle de l’angle de calage



DTS2 – Vérin hydraulique



Aperçu de la gamme ISO 6022

Type	Vérin différentiel
Longueur de course	jusqu'à 2 700 mm
Diamètre du piston	40 à 220 mm

LIEBHERR

DTS3 – Angle des pales

Angle de pale

Positions particulières des pales du rotor (angle de pale) dans le cas de l'E-103 EP2 :

A : 2° Position normale en mode charge partielle : exploitation maximale du vent.

B : ≥ 60° Fonctionnement à vide (l'éolienne n'injecte aucune puissance dans le réseau en raison de la faible vitesse de vent) : En fonction de la vitesse du vent, le rotor tourne à une vitesse minime ou s'arrête en cas d'absence complète de vent.

C : 92° Mise en drapeau (le rotor a été stoppé manuellement ou automatiquement) : Même lorsque le vent souffle, les pales du rotor ne créent aucune force ascensionnelle, le rotor est immobile ou tourne très lentement.

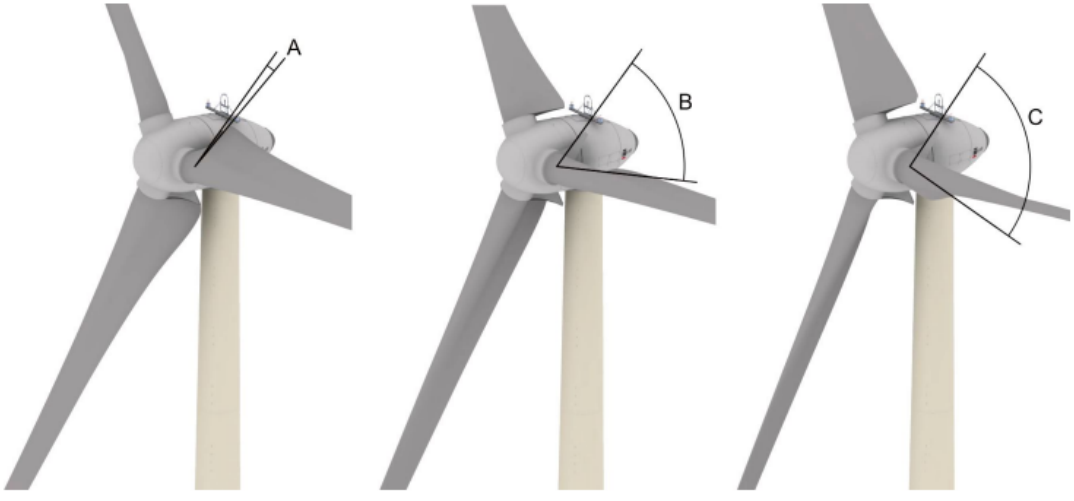
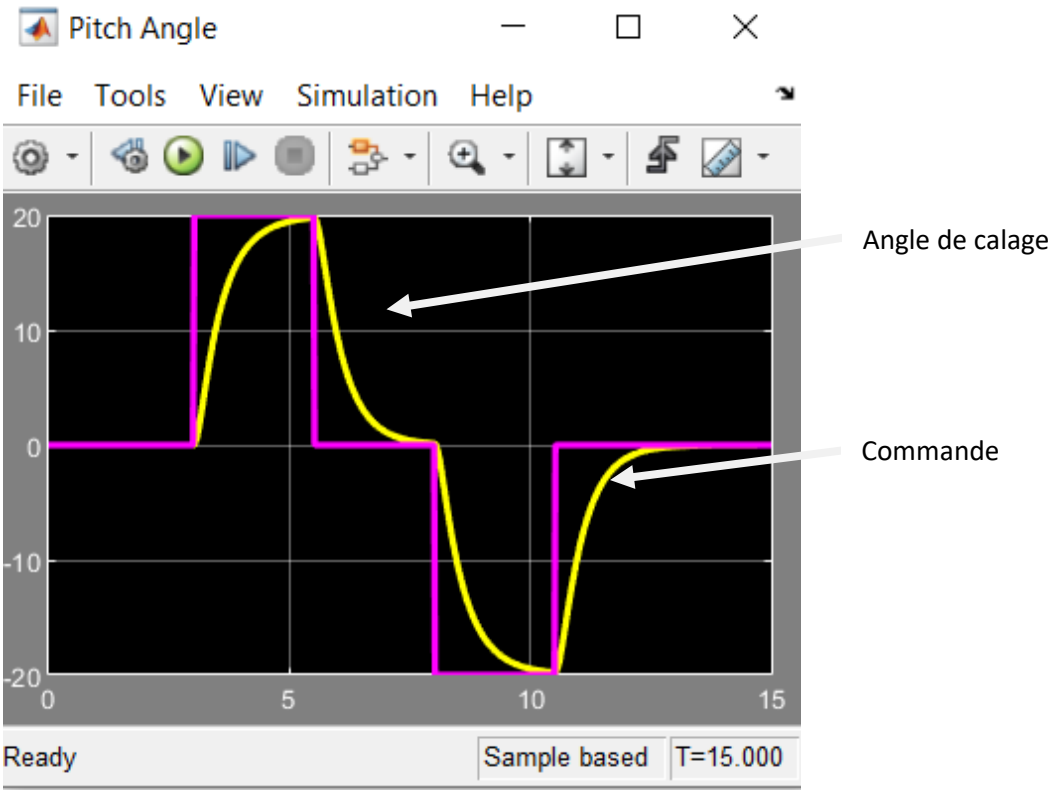
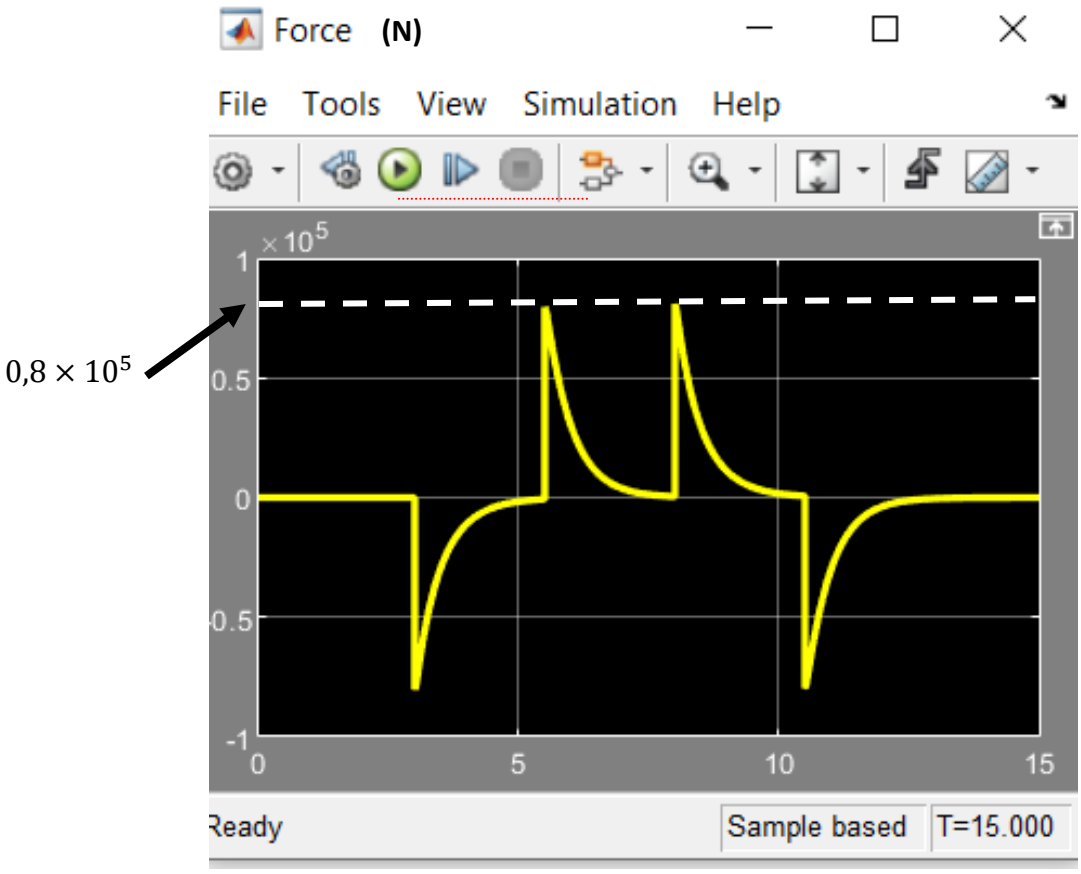


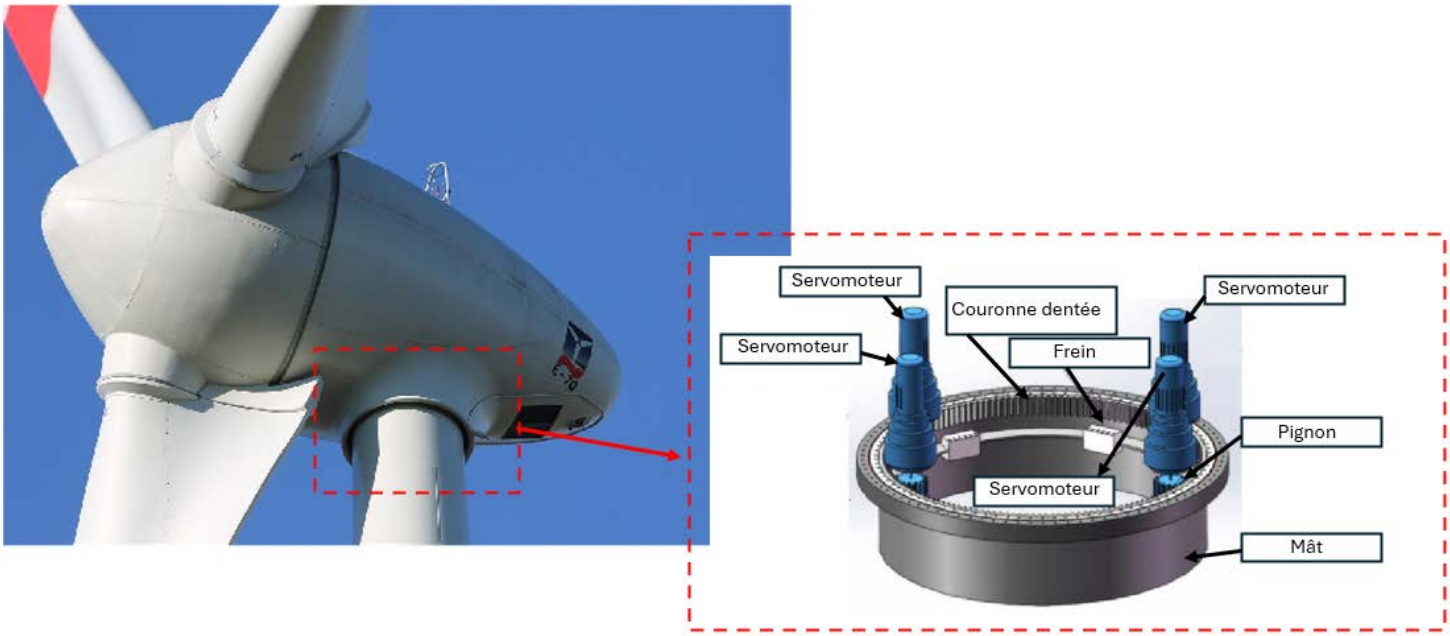
Fig. 4 : Positions particulières de la pale

DTS4 – Simulation pour un cycle de fonctionnement avec une commande de positionnement évoluant de + 20 ° à - 20 °





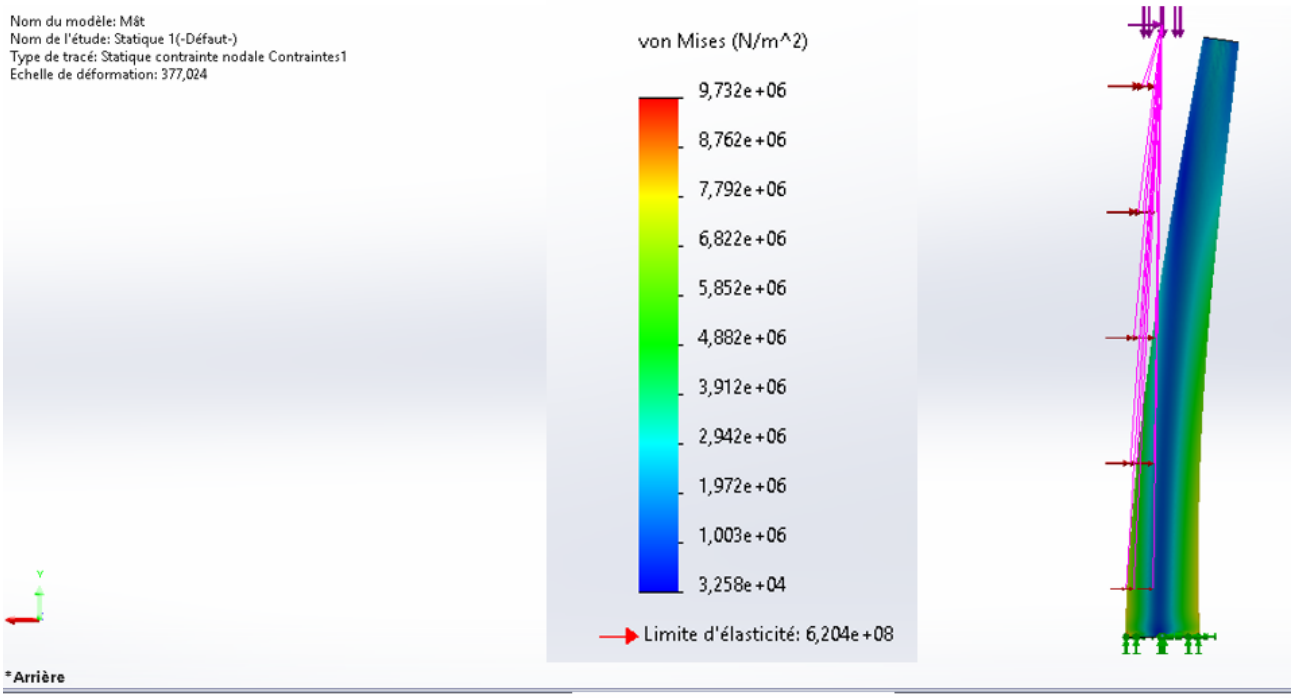
DTS5 – Servomoteurs / Couronne dentée

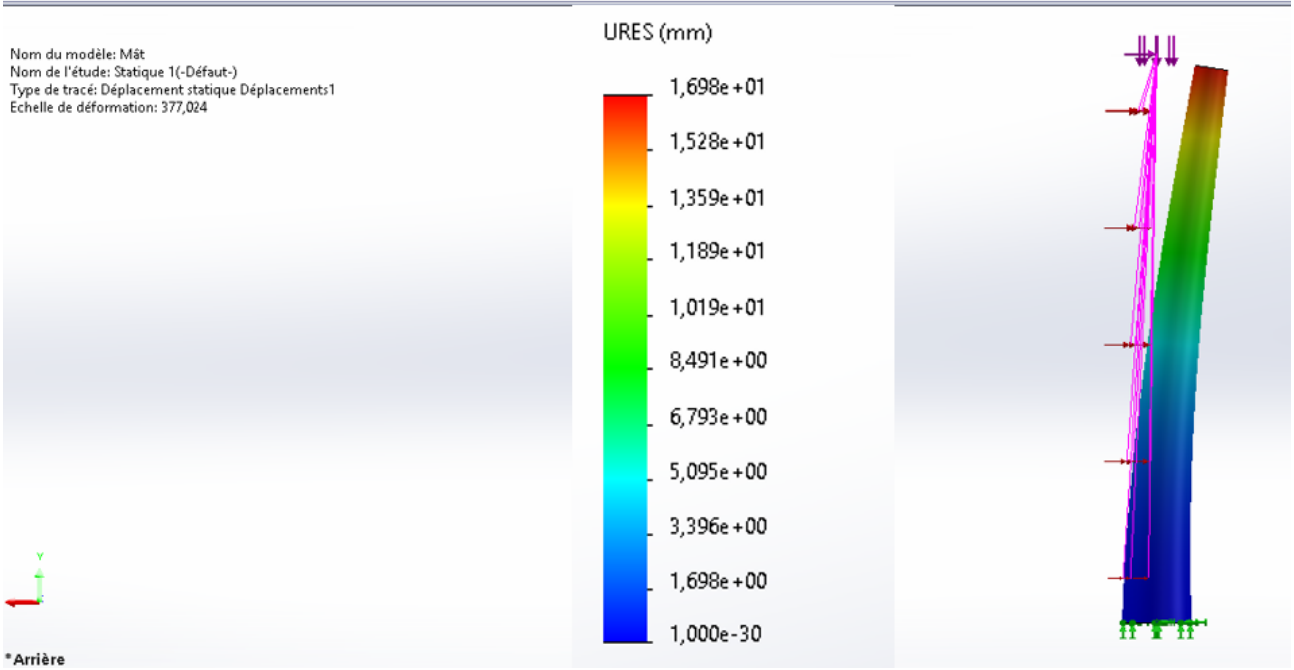


DTS6 – Caractéristiques techniques des servomoteurs

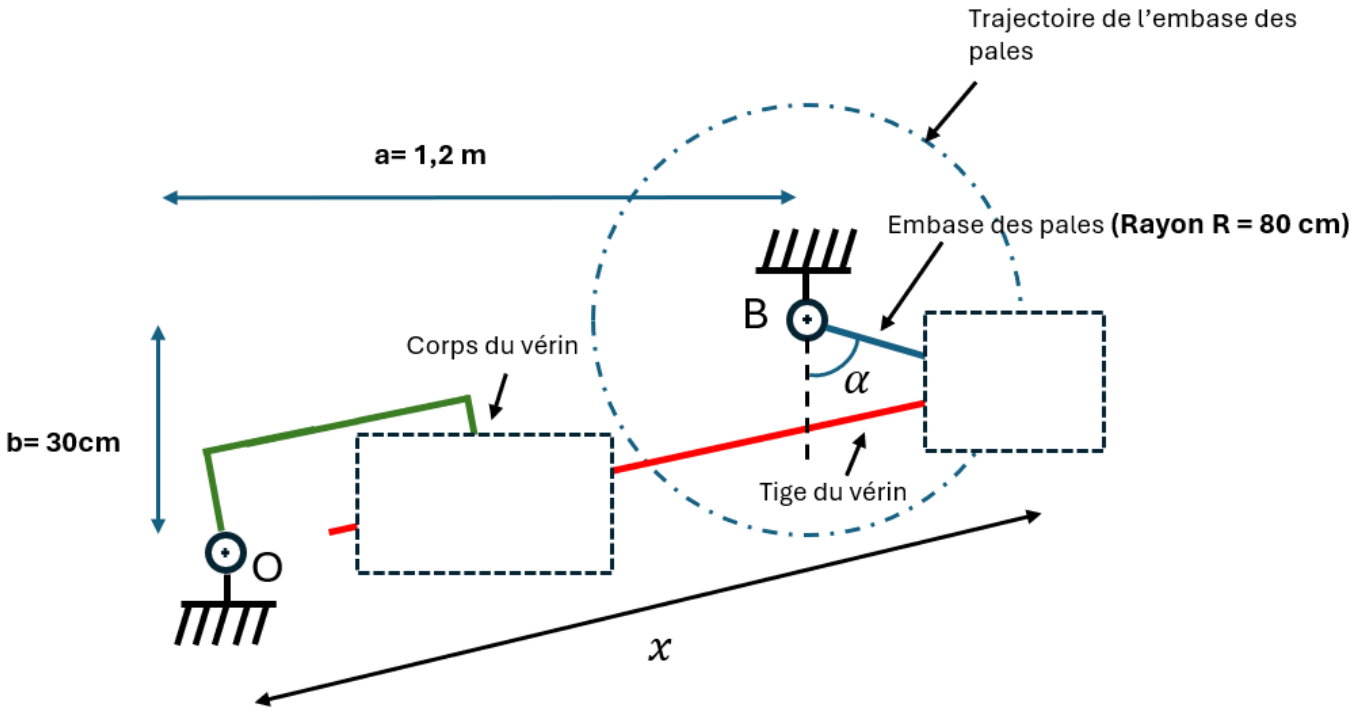
Moteur	Taille	Rotation lente (1)		Nominal (1)			Max Couple (1)	Inertie		Ke (2) (3)	Kt (2) (3)
		Couple	Courant	Couple	Vitesse	Courant		Sans frein	Avec frein		
		T_0 [Nm]	I_0 [A]	T_n [Nm]	n [min^{-1}]	I_n [A]	T_{max} [Nm]	J [$kgmm^2$]	J [$kgmm^2$]	Ke [Vs]	Kt [Nm/A_{eff}]
Alimentation 230 VAC - Mono ou Triphasé											
NX310EAP	71	2	1,4	1,80	2300	1,27	6,6	80	87	88,9	1,440
NX310EAK	71	2	2,4	1,65	4000	2,06	6,6	80	87	50,9	0,823
NX420EAP	91,5	4	2,7	3,53	2300	2,41	13,4	290	308	89,9	1,480
NX420EAJ	91,5	4	4,7	3,14	4000	3,74	13,4	290	308	51,9	0,853
NX430EAL	91,5	5,5	3,8	5,04	2300	3,49	18,7	430	448	90,9	1,450
NX430EAF	91,5	5,5	6,6	4,29	4000	5,28	18,7	430	448	51,8	0,828
NX620EAV	121	8	2,8	7,85	1100	2,79	26,6	980	1 034	180,0	2,830
NX620EAR	121	8	5,3	7,42	2200	4,99	26,6	980	1 034	95,7	1,510
NX630EAR	121	12	5,3	10,70	1450	4,75	39,9	1 470	1 524	138,0	2,290
NX630EAN	121	12	7,9	9,81	2300	6,63	39,9	1 470	1 524	91,6	1,510
NX820EAR	155	16	11,0	14,50	2200	10,00	49,9	3 200	3 756	91,0	1,460
NX840EAK	155	28	16,8	23,50	2000	14,30	91,8	6 200	6 756	104,0	1,670
NX860EAJ	155	41	18,5	35,60	1450	16,20	136,0	9 200	9 756	140,0	2,210
Alimentation 230 VAC - Triphasé - Refroidissement par ventilateur											
NX860VAF	155	64	42,7	56,40	2000	37,50	136,0	9 200	9 756	96,1	1,500

DTS7 – Étude statique du mât





DRS1 – Schéma cinématique du contrôle de l'angle de calage des pales



- L'angle α représente l'angle de calage des pales.
- La longueur x représente la distance entre les deux extrémités du vérin hydraulique.

Loi entrée-sortie du mécanisme :

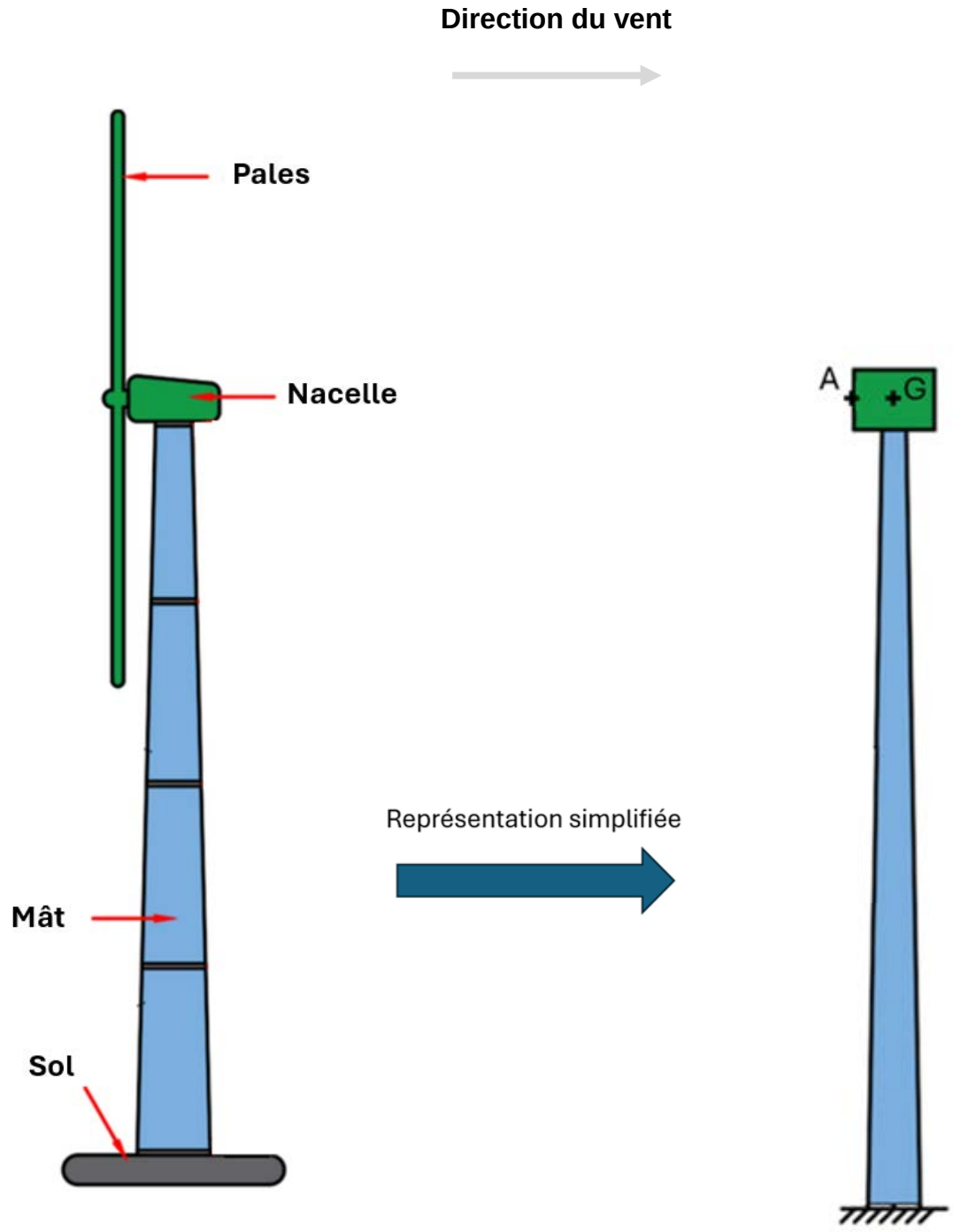
$$x(\alpha) = \sqrt{a^2 + b^2 + R^2 + 2 \times a \times R \times sin(\alpha) - 2 \times b \times R \times cos(\alpha)}$$

$x_1(mm)$ =.....

$x_2(mm)$ =.....

$Course\ du\ vérin\ (mm)$ =.....

DRS2 – Modélisation des actions mécaniques s'appliquant à l'éolienne



- Le point A représente le point d'application des efforts aérodynamiques sur les pales.
- Le point G représente le centre de gravité des pales et de la nacelle.