

Session 2018

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

**Sciences et technologies de l'industrie et du
développement durable**

ENSEIGNEMENTS TECHNOLOGIQUES TRANSVERSAUX

Hydrolienne de l'île d'Ouessant

Coefficient 8 – Durée 4 heures

Aucun document autorisé – Calculatrice autorisée



Constitution du sujet :

- **Dossier sujet** (*mise en situation et questions à traiter par le candidat*)
 - **PARTIE 1 (1 heure)**..... Pages 3 à 4
 - **PARTIE 2 (3 heures)**..... Pages 5 à 15
- **Dossier technique**..... Pages 16 à 23
- **Documents réponses** Pages 24 à 27

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

**Les documents réponses DR1 à DR4 (pages 24 à 27) seront
à rendre agrafés avec vos copies.**

Mise en situation

La transition énergétique constitue l'une des composantes principales de la transition écologique. Elle traduit le passage d'une société fondée sur la consommation abondante d'énergies fossiles à une société plus sobre en énergie et faiblement carbonée. Un tel changement de modèle énergétique suppose de travailler sur :

- les économies d'énergie ;
- l'évolution du mix énergétique, avec une part accrue des énergies renouvelables.

Le paquet «climat-énergie» de l'union européenne prévoit d'augmenter à 23 % la part des énergies renouvelables dans le bouquet énergétique français à l'horizon 2020 avec deux lignes stratégiques : autonomie et décentralisation. C'est dans ce cadre que RTE (réseau de transport d'énergie) s'emploie à :

- optimiser le réseau de distribution d'énergie français ;
- veiller à la sécurité de l'alimentation des installations, avec l'accès à une électricité économique, sûre et propre, aujourd'hui et demain ;
- adapter le réseau existant pour accélérer la transition énergétique, en proposant des solutions innovantes.

L'étude comporte deux parties :

- une étude du réseau de production sur le territoire métropolitain français ;
- une étude sur un exemple de micro production : l'hydrolienne, solution de production d'énergie électrique innovante, non polluante et renouvelable.



Figure 1: hydrolienne D10 de Sabella

Travail demandé

PARTIE 1 : Le maillage de production électrique en France

Les records successifs de puissance de pointe électrique appelée sont devenus autant d'alertes sur une possible panne du système électrique en cas de vague de froid.

L'**objectif** de cette partie est de vérifier que le maillage de production électrique, en France, permet de respecter le paquet « climat-énergie ».

Question 1.1 | En utilisant les données de DT1, **déterminer** le pic de consommation
DT1 | d'énergie sur les 10 dernières années et **justifier** la capacité de
production électrique française tout type d'énergie confondu.

Question 1.2 | À partir du DT1, **calculer** la part des énergies renouvelables en %. La
DT1 | transition énergétique est-elle respectée ? **Justifiez** votre réponse.

Question 1.3 | **Nommer** les régions à forte densité de population et en déficit de site de
DT2 | production d'énergie (DT2). **En déduire** le type de problème qui peut
survenir dans ces régions et en donner les raisons ?

La centrale de Cordemais, située en Loire Atlantique, joue un rôle important dans la distribution d'énergie électrique en Bretagne. C'est une centrale thermique (charbon et fuel) qui fournit une puissance électrique évaluée à 2 600 MW. La tension composée est de 400 000 V à la sortie du transformateur.

On rappelle qu'une puissance électrique triphasée alternative se calcule de la manière suivante :

$$P = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cos \varphi$$

On prendra $\cos \varphi = 1$

P : puissance en W

$\cos \varphi$: déphasage entre tension et courant

U : tension composée (entre deux phases) en V

I : courant dans une phase en A

Question 1.4 | **Calculer** l'intensité du courant dans une phase en Ampère.

La distance entre la centrale de Cordemais et la ville de Brest est de 300 km. Les câbles électriques sont composés d'un alliage d'aluminium ayant une résistivité de $28 \times 10^{-9} \Omega \cdot \text{m}^{-1}$.

On rappelle que les pertes sur une ligne dues à la résistivité électrique d'un matériau se calculent de la manière suivante :

$$P_e = R \cdot I^2 \quad \text{avec} \quad R = \rho \cdot \frac{L}{S}$$

On prendra $\rho = 28 \times 10^{-9} \Omega \cdot \text{m}^{-1}$
 $S = 1300 \text{ mm}^2$

R : résistance en Ω

ρ : résistivité en $\Omega \cdot \text{m}^{-1}$

L : longueur du conducteur en m

S : section en m^2

Question 1.5 | **Calculer** les pertes dues au transport de l'électricité pour les trois phases si toute la puissance de la centrale est dédiée à la ville de Brest. **En déduire** le pourcentage de pertes dû au transport.

Bilan de l'étude :

Question 1.6 | **Conclure** sur l'importance des pertes et **proposer** une solution d'amélioration du maillage qui permettrait d'atteindre les objectifs du paquet « climat-énergie ».

PARTIE 2 : Étude du projet hydrolien « Eussabella »

Certaines îles ont une problématique énergétique particulière car elles ne peuvent pas être raccordées au réseau continental. C'est le cas de l'île d'Ouessant, située à la pointe de la Bretagne, elle est dotée de groupes électrogènes pour son approvisionnement électrique.

Outre l'incidence en termes de pollution de cette production électrique carbonée dans des micros environnements particulièrement fragiles et à préserver, celle-ci conduit à des coûts de production environ 4 fois supérieurs à ceux de la métropole.

Dans le cas de l'île d'Ouessant, le besoin en énergie électrique induit une consommation annuelle de 2,3 millions de litres de fuel. Ces îles étant situées dans des zones à fort potentiel hydro-cinétique, l'implantation d'infrastructures hydroliennes permettrait de décarboner significativement leur production d'énergie.

L'hydrolienne va prélever l'énergie des courants marins pour la transformer en énergie mécanique. La génératrice intégrée directement dans la structure de la turbine va produire de l'énergie électrique.

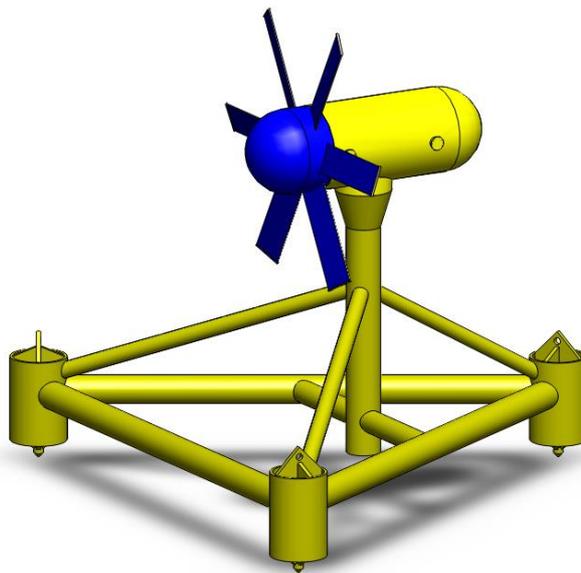


Figure 2 : hydrolienne D10 de Sabella

Travail demandé

L'étude suivante permettra de valider la pertinence d'un projet hydrolien pour l'île d'Ouessant.

PARTIE 2.1: Implantation de l'hydrolienne

Saisi par la préfecture maritime de l'Atlantique, la préfecture de région et la région Bretagne, le conseil de gestion du parc naturel marin d'Iroise a émis un avis favorable pour le projet de déploiement d'une ferme de démonstration hydrolienne dans le Fromveur.

Le passage du Fromveur est situé entre l'archipel de Molène et l'île d'Ouessant, au nord de la mer d'Iroise (Finistère, France) à une profondeur de 65 mètres. C'est le lieu de très violents courants, qui peuvent atteindre jusqu'à 9 nœuds localement, et presque 7 nœuds à mi marée de vives eaux dans tout le passage.

L'objectif de cette partie est de valider l'emplacement d'implantation de l'hydrolienne choisi par la société Sabella.



Figure 3 : zone d'implantation de la ferme d'hydroliennes D10 de Sabella

Question
2.1.1

Déterminer les types d'énergie entrante et sortante de l'hydrolienne.

DT3

En utilisant DT3, **déterminer** le facteur externe important à prendre en compte pour prévoir la production électrique d'une hydrolienne.

Question
2.1.2

A partir du DT4, **expliquer** pourquoi certaines vitesses sont positives et d'autres négatives.

DT4

Question 2.1.3 | Les calculs techniques sur les hydroliennes sont basés sur les unités SI (système international). **Convertir** les 4 vitesses moyennes des courants sur 12 heures (voir DT4) en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

DT4

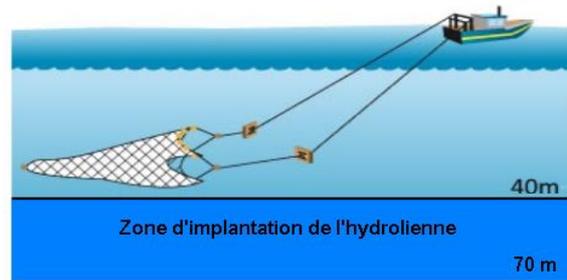
Remarques :

- 1 nœud équivaut à un mile marin parcouru par heure ;
- 1 mile marin = 1852 mètres.

Question 2.1.4 | D'après le DT4 peut-on **valider** le site du Fromveur comme site hydrocinétique exploitable ?

DT4

L'implantation de l'hydrolienne doit être située dans une zone proche du lieu de consommation pour minimiser les pertes dues au transport de l'énergie. L'hydrolienne doit, de plus, être immergée à une profondeur inférieure à 70 mètres pour permettre sa mise à l'eau par un treuil et supérieure à 40 mètres pour permettre la pêche par chalutage.



Question 2.1.5 | A partir de ces dernières informations et des résultats précédents, **justifier**, en quoi, l'implantation d'une hydrolienne dans le Fromveur, garantit les trois piliers du développement durable.

PARTIE 2.2 : Quelle gestion énergétique pour l'île ?

Le cahier des charges impose à la société Sabella de fournir 70 % des besoins énergétiques de l'île. L'objectif de cette partie est de déterminer le nombre d'hydroliennes nécessaire pour satisfaire ce critère du cahier des charges.

Question 2.2.1	La société Sabella met en place des hydroliennes D10 (diamètre de 10 mètres). On estime à $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ la vitesse moyenne annuelle des courants. A l'aide du DT3, calculer la puissance cinétique traversant le disque de captage d'une hydrolienne.
DT3	

La chaîne d'énergie d'une installation hydrolienne est représentée sur le document DR1 (pour une hydrolienne).

Chaque élément qui la constitue a son propre rendement (tableau 1).

Performance hydrodynamique de l'hélice (*)	56 %
Rendement de la génératrice	90 %
Modulateur	90 %
Rendement des câbles de transport	98,5 %

(*) La performance hydrodynamique d'une hélice d'hydrolienne représente le pourcentage maximal de la puissance cinétique qu'elle peut capter. On l'assimile ici à un rendement.

Tableau 1 : rendements des différents éléments constitutifs de l'installation

Question 2.2.2	Indiquer sur le document DR1 la nature de l'énergie qui transite entre chaque élément.
DR1	
Question 2.2.3	Déduire , des questions précédentes, la puissance électrique récupérable à terre.

Dans la suite de l'étude, les hypothèses suivantes sont retenues :

- une production des hydroliennes pendant une journée caractéristique (coefficient de marée moyen) ;
- une consommation énergétique journalière moyenne de 84 471 kWh.

Question 2.2.4 | **Compléter**, dans le premier tableau du DR2, les pourcentages que représente la production d'une ferme d'une, de deux, quatre puis six hydroliennes par rapport à la consommation journalière moyenne.

DR2

Question 2.2.5 | La production d'électricité par les hydroliennes doit assurer au moins 70 % des besoins de l'île.

DR2 | **Choisir** le nombre minimum d'hydroliennes nécessaire sur le DR2.

Les besoins énergétiques complémentaires de l'île seront assurés par les groupes électrogènes existants. Le graphique du DR2 représente la consommation énergétique d'une journée particulière et la production d'une ferme avec un nombre variables d'hydroliennes.

Question 2.2.6 | **Surligner**, sur le graphique du DR2, la courbe de production correspondant à votre choix fait à la question précédente.

DR2 | **Comparer** la courbe de production correspondant à votre choix et la consommation de l'île.

L'exploitant a fait le choix d'utiliser quatre hydroliennes.

Compléter le deuxième tableau du DR2 comparant la consommation de l'île et la production hydrolienne.

Sachant qu'il n'existe aucun moyen de stockage d'énergie électrique sur l'île, **conclure** sur la complémentarité entre la production électrique hydrolienne et celle réalisée par les groupes électrogènes.

PARTIE 2.3 : Assurer l'ancrage de l'hydrolienne

L'hydrolienne est posée à une profondeur de 65 mètres dans un parc marin (espace protégé), où il n'est pas envisageable de réaliser des travaux de fondation. Il a donc été réalisé, sous chaque pied, une forme pointue appelée dent d'accroche. Ces dents doivent s'enfoncer dans le sol d'au moins 15 cm pour garantir la stabilité de l'hydrolienne. L'objectif de cette étude est de valider la profondeur de pénétration de ces dents d'accroche dans le sol au moment de la mise en place de l'hydrolienne

Des tests ont été réalisés à l'aide d'un pénétromètre¹ afin de déterminer la résistance du sol ($R_{\text{sol}} = 25 \text{ Mpa}$) à la pénétration. Par gravitation, l'hydrolienne s'enfonce dans le sol car la résistance du sol est bien plus faible que la résistance à la compression des dents en acier ($R_{\text{acier}} = 180 \text{ MPa}$). On appelle h_p , la profondeur de pénétration de la dent.

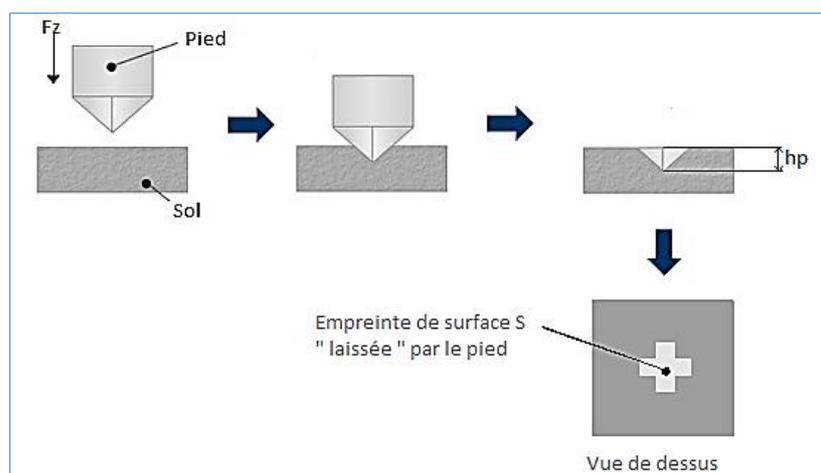


Figure 4 : description du principe de pénétration de la dent dans le sol

On rappelle le lien entre la résistance du sol, la force d'appui et la surface de l'empreinte :

$$R_{\text{sol}} = \frac{Fz}{S}$$

R_{sol} : résistance du sol (en Pa)

Fz : force d'appui verticale (en N)

S : surface de l'empreinte (en m^2)

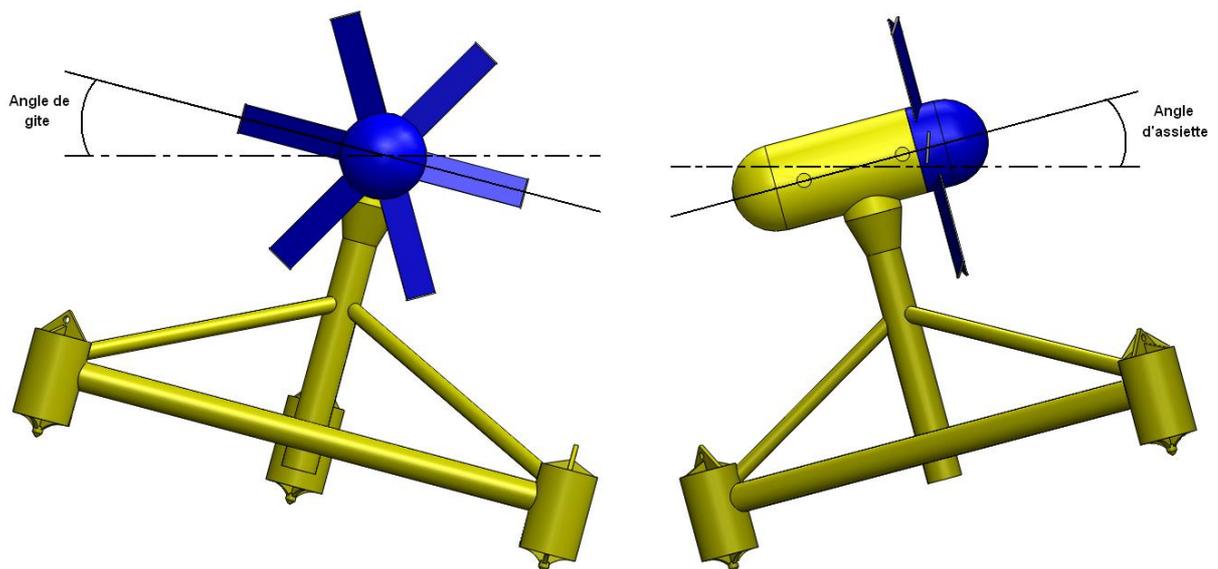
¹ *Pénétrromètre* : instrument de mesure géotechnique simple, rapide et économique d'investigation des sols. Il permet d'apprécier de façon qualitative la résistance des terrains, et de prévoir la réaction du sol à l'enfoncement de pieux.

Question 2.3.1	Une simulation des efforts a été réalisée afin de connaître les efforts des trois pieds sur le sol (tableau 5, DT5).
DT5	A l'aide des résultats de cette simulation, relever la valeur de la force d'appui verticale de chacun des pieds sur le sol.

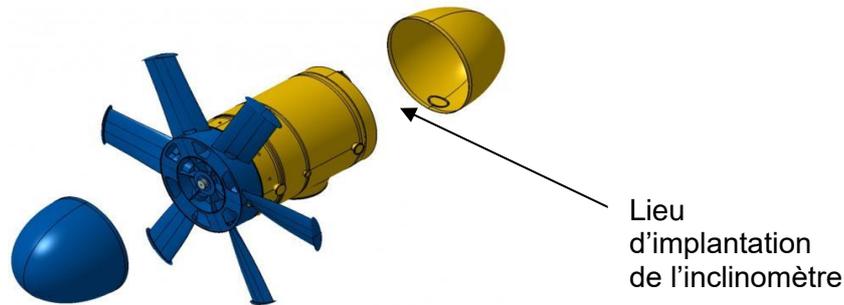
Question 2.3.2	Calculer , pour le cas le plus défavorable, la surface de l'empreinte.
DR3	Evaluer graphiquement à l'aide du document DR3 la valeur de la profondeur de pénétration h_p correspondant à la surface S, déterminée à la question précédente.
	Conclure quant à la bonne accroche de l'hydrolienne sur le fond marin du Fromveur au moment de son installation.

PARTIE 2.4 : Surveillance du bon positionnement de l'hydrolienne

La topographie sous-marine étant relativement irrégulière, il est utile de s'intéresser au positionnement de l'embase de l'hydrolienne sur le fond. En effet, si l'angle d'assiette devient trop important la performance hydrodynamique de l'hélice diminue.



Le défaut de positionnement peut apparaître au moment du posage de l'hydrolienne sur le fond marin mais aussi en cours d'exploitation. En effet, l'hydrolienne peut se déplacer sous l'action de courants marins exceptionnellement forts. Afin de surveiller son inclinaison, un inclinomètre est installé à l'intérieur de l'hydrolienne.



L'objectif de cette partie est de valider le choix du capteur. Celui-ci doit aussi permettre de détecter la rupture de la communication.

Question 2.4.1 DT6	L'environnement du capteur est particulièrement parasité par la génératrice (champ magnétique). À partir de la figure 9 du DT6 et des informations précédentes, choisir et justifier la nature du signal de sortie du capteur.
------------------------------	--

Question 2.4.2 DT6	Conclure sur le choix du capteur IS1AxxP18 effectué par la société Sabella.
------------------------------	--

PARTIE 2.5 : Organisation matérielle du dispositif de communication

Des travaux ont été effectués sur les hauteurs de la plage de Pors Al Lann, à Ouessant, pour y installer un conteneur (poste de contrôle) servant à collecter et redistribuer l'énergie électrique produit par l'hydrolienne. Ce conteneur, situé à 2 km de l'hydrolienne, sert également de centrale de contrôle de l'hydrolienne Sabella D10.

L'hydrolienne étant immergée, il est impossible de contrôler son bon fonctionnement de visu. Pour pallier ce problème, la société Sabella a instrumenté l'hydrolienne avec des capteurs. Tous ces capteurs sont reliés à une unité de traitement dont le rôle est d'envoyer les différentes informations à un serveur situé dans le poste de contrôle. Le document DT7 donne un exemple d'une architecture réseau pour une ferme de quatre hydroliennes.

L'objectif de cette partie est de valider l'organisation logicielle et matérielle du dispositif de communication permettant la collecte d'informations sur le fonctionnement de l'hydrolienne.

Type de câble	Bidirectionnel	Distance maximale
Câble à paire torsadée Cat5e	Non simultanée	100 m
Câble à paire torsadée Cat5	Simultanée	100 m
Fibre optique multimode	Simultanée	550 m
Fibre optique monomode	Simultanée	5 km
Axial double	Simultanée	100 m

Tableau 2 : relation entre type de câble et distance de communication

Question 2.5.1 | A partir du tableau 2, **déterminer et justifier** le type de câble à utiliser.

Question 2.5.2 | A partir du DT7, **déterminer** le masque de sous réseau de la ferme hydrolienne en décimal.

DT7

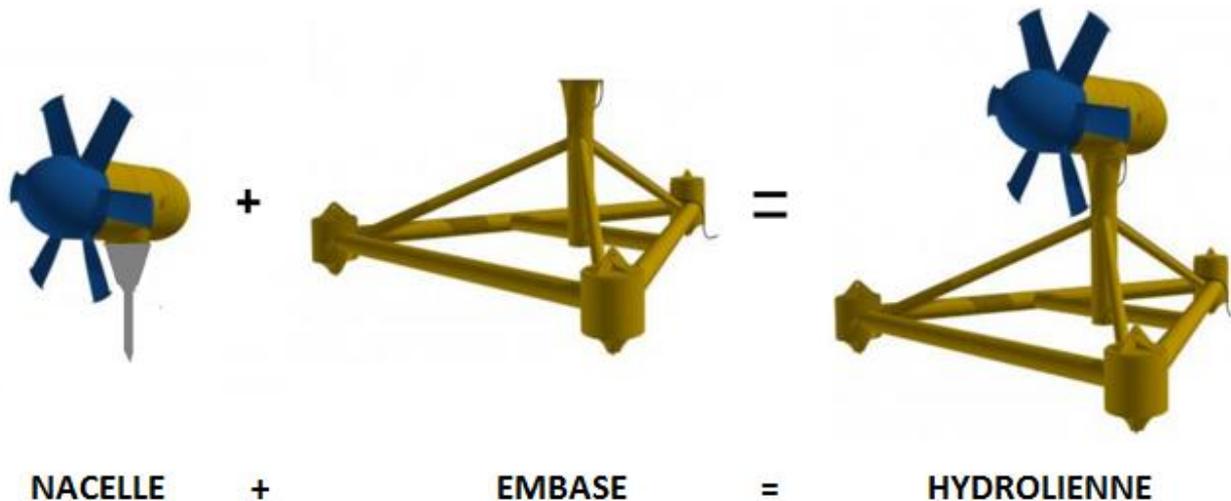
Question 2.5.3 | **Déterminer** l'adresse réseau de la ferme hydrolienne en **précisant** la méthode utilisée (voir DT7).

DT7

Question 2.5.4 | Dans la configuration matérielle et logiciel actuelle, **déterminer** s'il est possible de superviser plus de quatre hydroliennes.

PARTIE 2.6 : Montage de la nacelle sur l'embase en toute sécurité

Une des dernières étapes du montage de l'hydrolienne concerne la mise en place de la nacelle sur l'embase. Cette opération s'effectue à terre, avant d'embarquer l'hydrolienne en mer pour son installation finale. La manutention de la nacelle a été effectuée par deux grues et le levage a été réalisé grâce à un système d'élingues (accessoires de levage souples, câbles ou sangles textile) fixées d'une part au palan de la grue et d'autre part à la nacelle. Dans cette partie, nous allons valider que le travail a été réalisé en toute sécurité.



Données (voir également DR4) :

- la masse de la nacelle est de 90 tonnes ;
- la valeur de g est $9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$;
- le poids des élingues est négligé ;
- le système est étudié dans le plan (O, x, z) ;
- la direction des efforts exercés dans les élingues gauches et droites est respectivement la droite (AC) et la droite (BC) .

Dans cette partie, nous allons justifier par une étude statique le choix des élingues utilisées par l'entreprise Sabella pour effectuer le montage de la partie nacelle sur l'embase de l'hydrolienne.

Question
2.6.1

Calculer le poids de la nacelle.

Question
2.6.2

Sur le document réponse DR4, **tracer** les directions des efforts en A et B ; **compléter** le tableau du bilan des actions mécaniques s'appliquant à la nacelle.

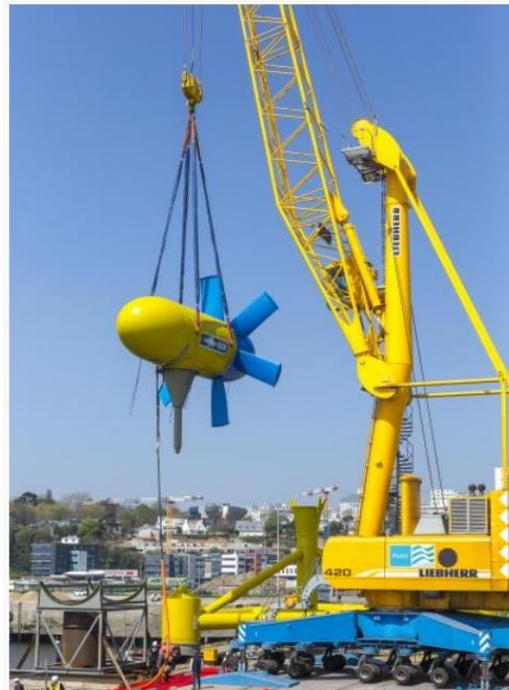
DR4

Question
2.6.3
DR4

Sur le DR4, **déterminer** graphiquement les efforts, $\vec{F}_{A \text{ Élingue gauche} \rightarrow \text{Nacelle}}$ et $\vec{F}_{B \text{ Élingue droite} \rightarrow \text{Nacelle}}$ s'exerçant aux points d'ancrage A et B. en justifiant votre démarche.

En réalité, pour plus de stabilité, l'élingage est assuré par quatre élingues.

L'angle entre la verticale et les élingues étant de 15° , l'effort dans chaque élingue est identique et a pour valeur : $F_{\text{élingue}} = 0,5 \times (\vec{F}_{A \text{ Élingue gauche} \rightarrow \text{Nacelle}} / \cos 15^\circ)$



Question
2.6.4

Calculer l'effort, $F_{\text{élingue}}$, exercé dans chacune des élingues.

D'autre part, le coefficient de sécurité à appliquer pour le choix des élingues est de 2 pour un usage à l'intérieur et de 3 pour un usage à l'extérieur.

Question
2.6.5
DT8

L'élingue choisie par l'entreprise Sabella pour assurer la manutention de la nacelle est la GPL 80. En vous aidant du DT8, **justifier** ce choix.

DT1 : Données sur l'électricité en France

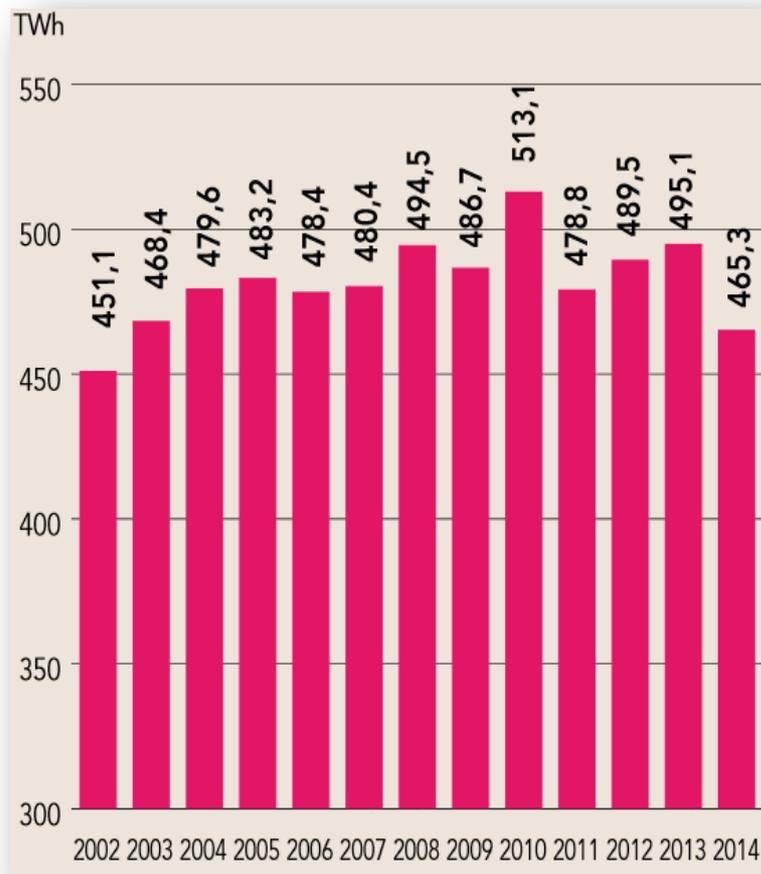


Figure 5 : consommation électrique en France

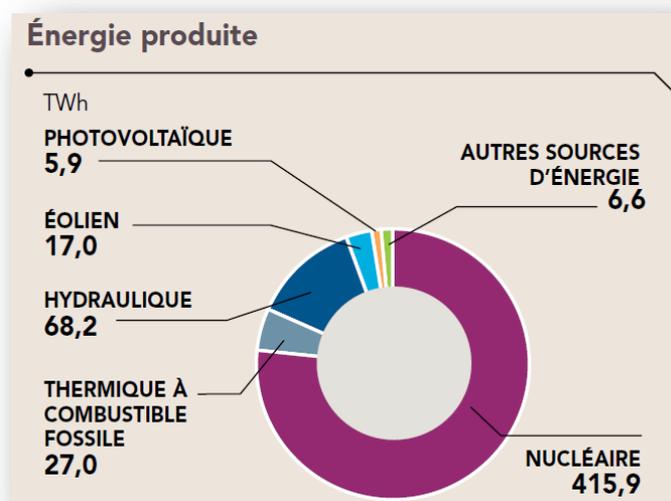


Figure 6 : décomposition de la production électrique en France

DT2 : Sites de productions et répartition de la population française



Figure 7 : site de production supérieur à 500 MW

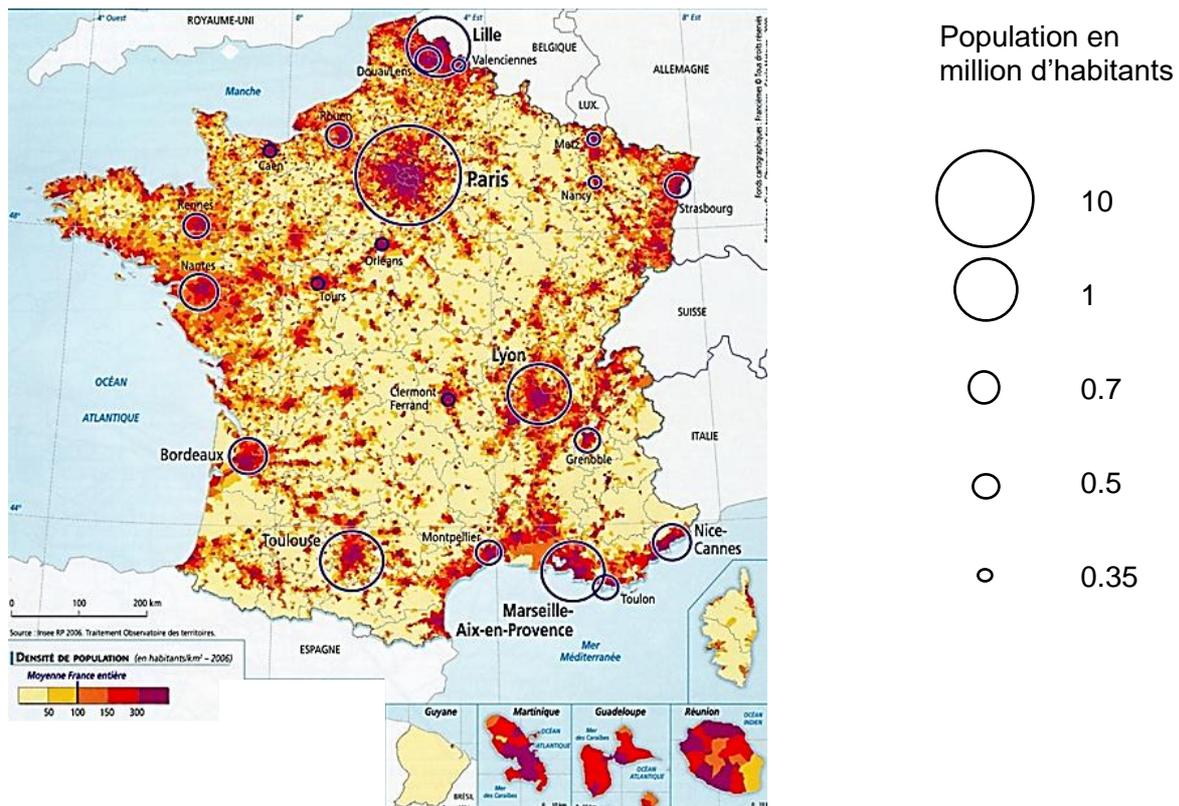


Figure 8 : carte de la répartition des populations française

DT3 : Puissance cinétique d'un fluide

La puissance cinétique du fluide traversant le disque de captage de section A de l'hydrolienne est :

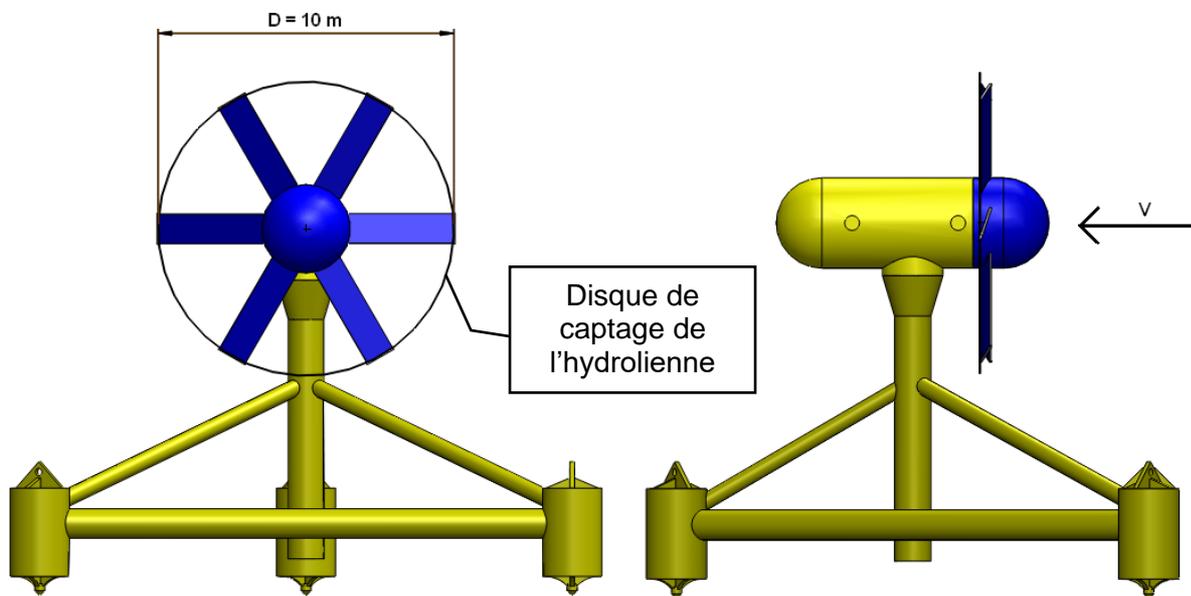
$$P_{ciné} = \frac{1}{2} \rho \cdot V^3 \cdot A$$

A : section du disque de captage en m^2

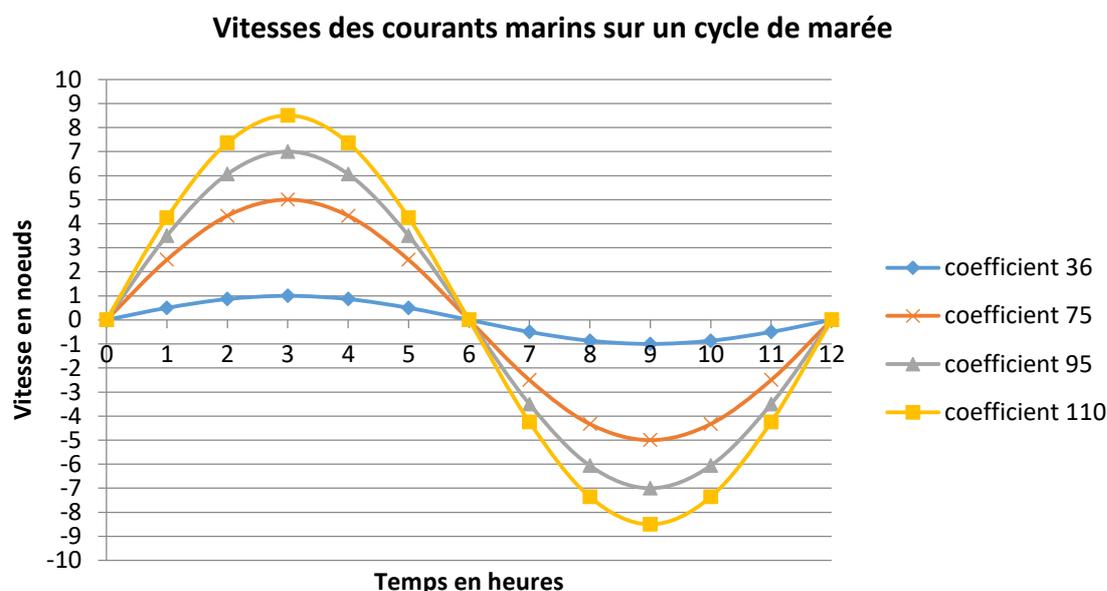
V : vitesse d'écoulement du fluide en $m \cdot s^{-1}$

$P_{ciné}$: puissance cinétique disponible W

ρ : masse volumique du fluide en $kg \cdot m^{-3}$
avec $\rho = 1\,025 \text{ kg} \cdot m^{-3}$ pour l'eau de mer



DT4 : Étude des courants dans le Fromveur et potentiels hydrocinétique



Coefficient de marée	Moyenne des courants sur 12 heures (noeuds)	Quantité de marées annuelle en pourcentage
Coefficient 0 à 40	0,48	3 %
Coefficient 40 à 70	2,48	40 %
Coefficient 70 à 100	3,5	43 %
Coefficient > 100	4	14 %

Tableau 3 : répartition des marées par coefficient

Potentialité des zones hydro-cinétiques

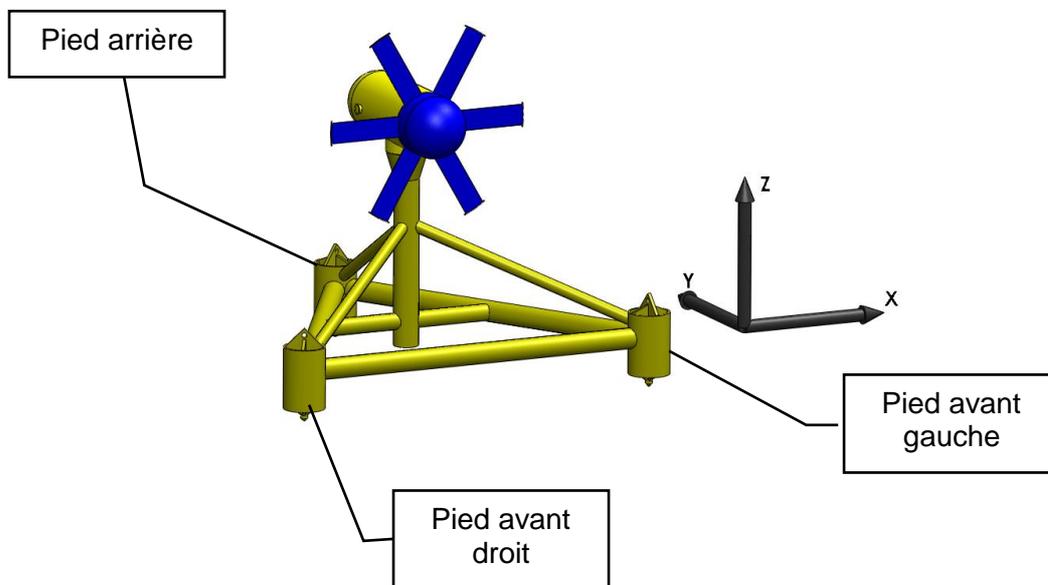
Un certain nombre de seuils techniques ont été définis pour juger de la potentialité des zones. Ces seuils ont fait l'objet d'une discussion et d'une validation dans le cadre de la commission énergies du SER (syndicat des énergies renouvelables).

Vitesse moyenne des courants en $m \cdot s^{-1}$ (en valeur absolue)	
$V < 0,5$	Défavorable
$0,5 < V < 2$	Favorable
$V > 2$	Optimal

Tableau 4 : seuil pour les sites hydrocinétiques

DT5 : Simulation des efforts sur le sol de l'hydrolienne

Efforts	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)
Eléments			
Pied arrière	0	0	-1500
Pied avant droit	0	0	-750
Pied avant gauche	0	0	-750

Tableau 5 : résultats de la simulation

DT6 : Signaux normalisés et inclinomètre

Nature du signal	0/10V	-10V / 10V	0/20mA	4/20mA
Caractéristiques				
Longueur de la liaison	10 m maxi	10 m maxi	> 100m	> 100m
Sensibilité aux parasites	élevée	élevée	faible	faible
Avantages	économique	précis	Fournit une valeur nulle en cas de rupture de liaison	Détecte la rupture de liaison
Inconvénients	Fournit une valeur aléatoire en cas de rupture de liaison		Pas de détection de la rupture de liaison	Moins précis

Figure 9 : les principaux signaux normalisés



IS1A xx P18 / IS2A xx P18

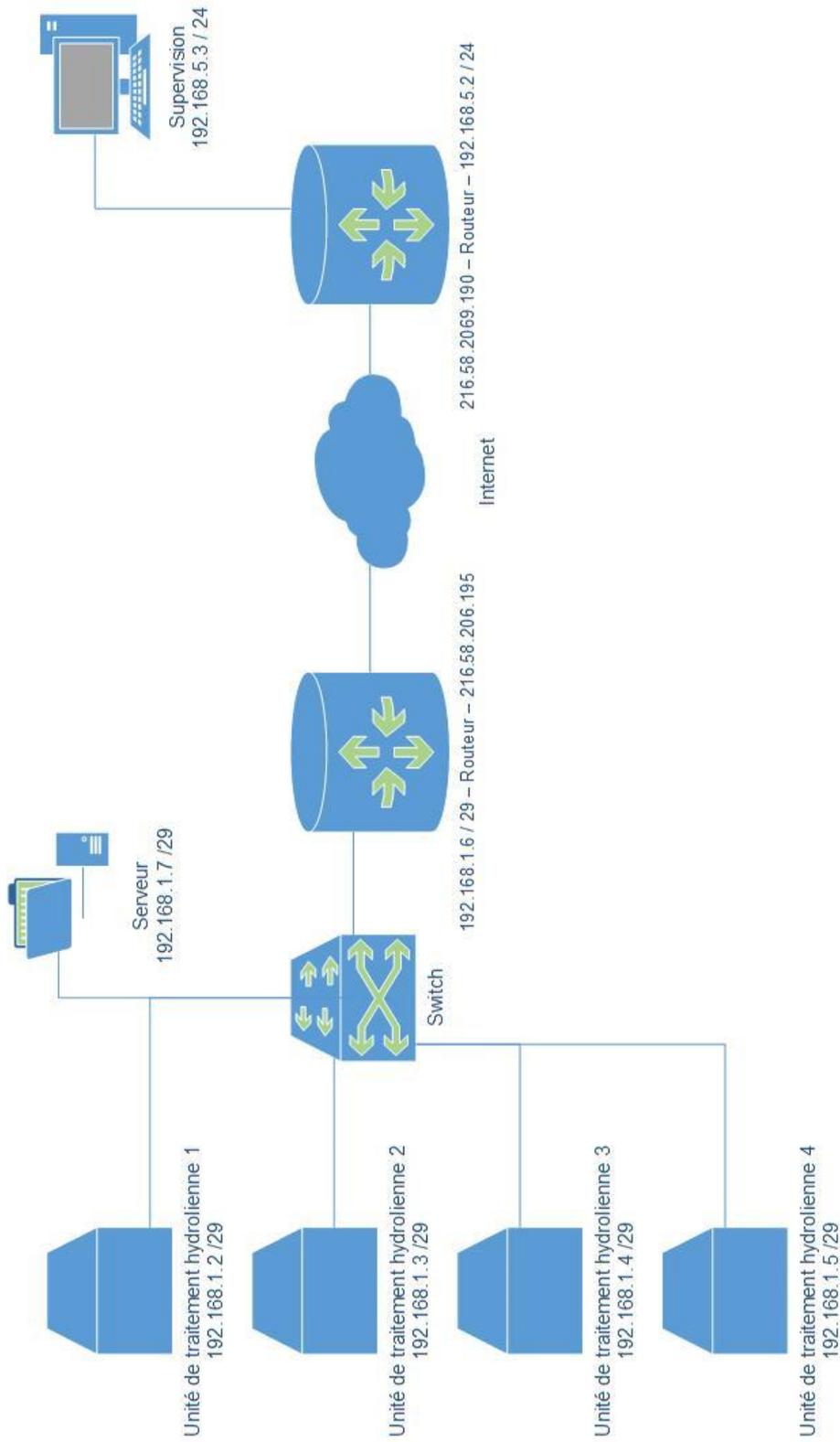


Technical Data:

General Parameters	
Measurement axes	1 axis (IS1A xx P18), 2 axis (IS2A xx P18)
Measurement ranges	$\pm 10^\circ$ / $\pm 45^\circ$ / $\pm 60^\circ$
Resolution (at zero point)	0,01° / 0,05° / 0,05°
Calibration accuracy (at 25° C)	$\pm 0,1^\circ$, $\pm 0,3^\circ$ / $\pm 0,7^\circ$ / $\pm 1,5^\circ$ (zero point and accumulated values)
Nonlinearity (sine)	Max. $\pm 0,2^\circ$ / $\pm 0,3^\circ$ / $\pm 0,4^\circ$
Temperature coefficient (zero point)	Max. ± 0.009 °/K / ± 0.009 °/K / ± 0.009 °/K
Cross Sensitivity	Max. 5%
Critical frequency	typ. 18 Hz
Operating temperature	-40 °C to +80 °C
Characteristics	
Interface	current loop 4...20 mA ; max. permitted Burde-Resistor = 250 Ohm

Figure 10 : inclinomètre

DT7 : Structure du réseau de communication



Remarque: Plutôt que d'écrire le masque de réseau sous la forme 255.255.255.0, on peut l'écrire en notation CIDR (Classless Inter-Domain Routing) comme ceci : /24 (c'est-à-dire, 24 bits à un consécutifs)

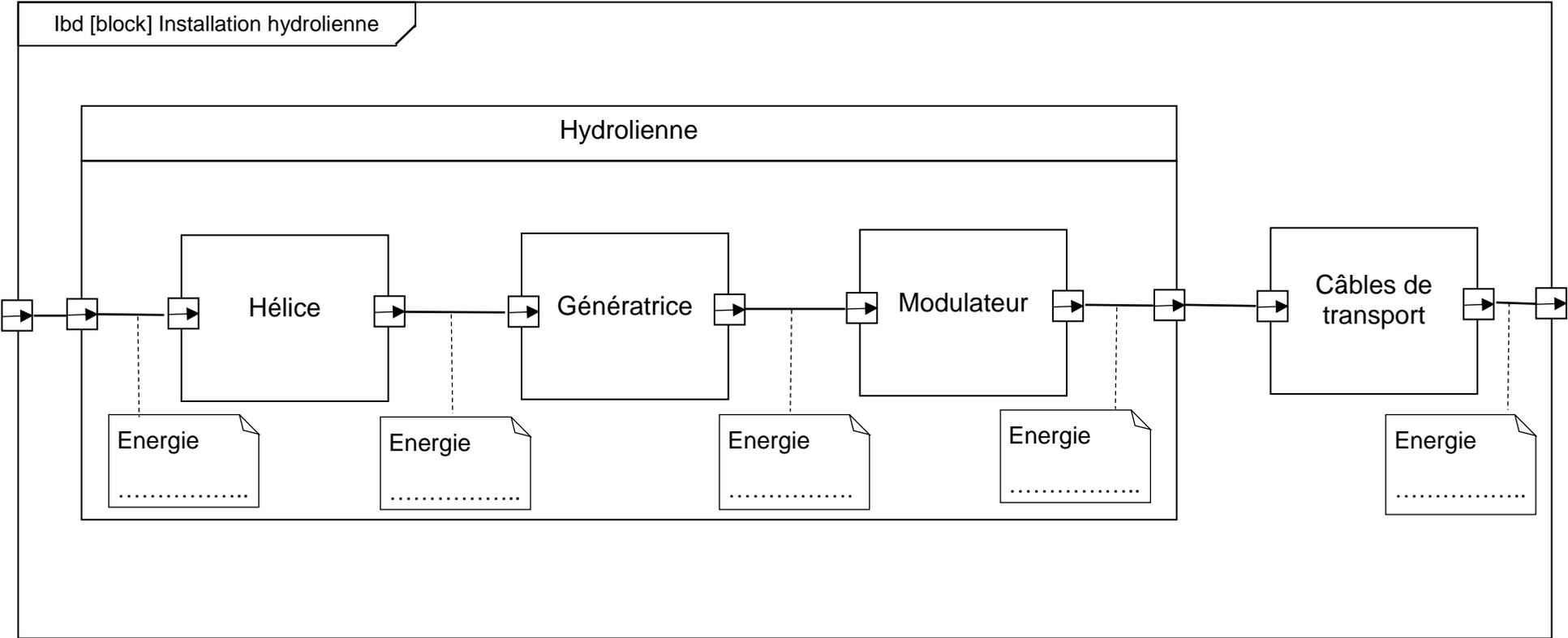
Exemple : 192.168.1.3/24 = adresse IP = 192.168.1.3 et masque de réseau = 255.255.255.0

DT8 : Couleurs et capacités des élingues textiles

D'après les normes NF EN 1492-1, NF EN 1492-3, NF EN 1492-4

Code	Couleur	Charge limite de travail (N)	Epaisseur approximative (mm)	Largeur approximative (mm)
GPL 01	VIOLET	10000	6	40
GPL 02	VERT	20000	7	50
GPL 03	JAUNE	30000	8	60
GPL 04	GRIS	40000	9	70
GPL 05	ROUGE	50000	11	75
GPL 06	MARRON	60000	12	80
GPL 08	BLEU	80000	13	90
GPL 10	ORANGE	100 000	15	100
GPL 12	ORANGE	120 000	16	110
GPL 15	ORANGE	150 000	18	125
GPL 20	ORANGE	200 000	20	150
GPL 30	ORANGE	300 000	32	200
GPL 50	ORANGE	500 000	45	220
GPL 80	ORANGE	800 000	70	260
GPL 100	ORANGE	1 000 000	80	290

DR1 : Chaine d'énergie de l'installation



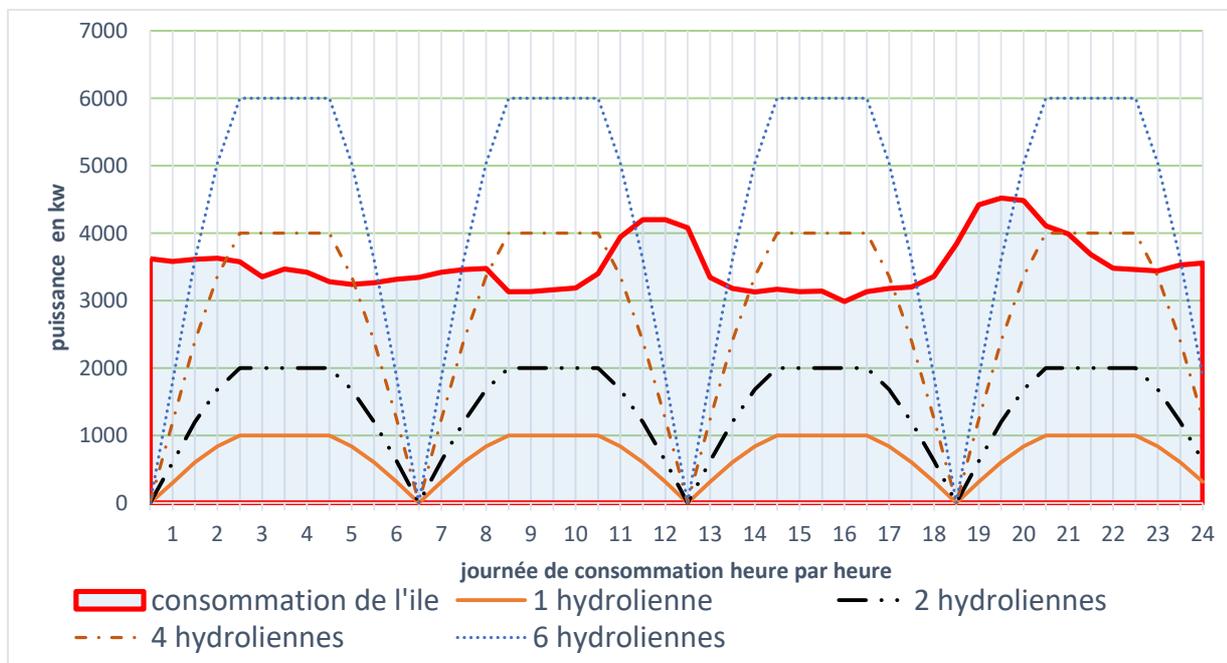
DR2 : Étude énergétique

Désignation	Énergie	% de recouvrement
Production d'une hydrolienne	16995 kWh	
Production de deux hydroliennes	33990 kWh	
Production de quatre hydroliennes	67980 kWh	
Production de six hydroliennes	135960 kWh	

Production théorique sur une journée typique

1	2	4	6
---	---	---	---

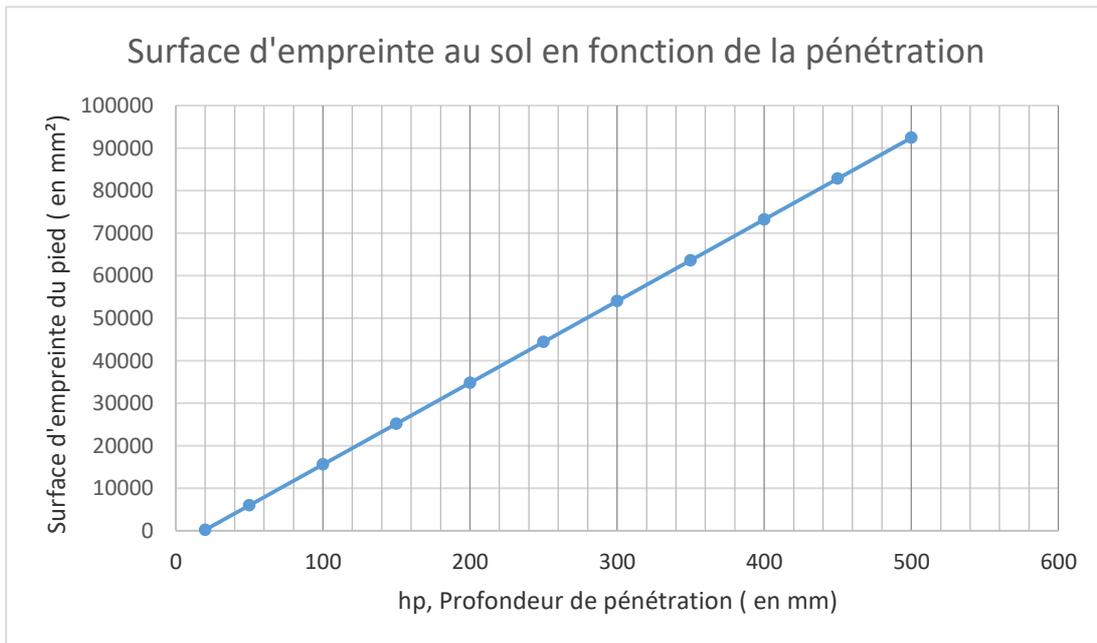
Validation du nombre d'hydrolienne (entourer la bonne réponse)



Heures	Production hydroliennes (kW)	Consommation (kW)	Écart entre production et consommation (kW)	Complément groupes électrogènes (kW)
16h00	4000	3000	1000	0
6h00				
9h00				
11h00				

Recouvrement de la puissance instantanée consommée

DR3 : Profondeur de pénétration



DR4 : Bilan des actions mécaniques

Force	Point d'application	Direction	Sens	Intensité (N)
\vec{P}_{Nacelle}	G	Verticale	Vers le bas	
\vec{F}_A Élingue gauche \rightarrow Nacelle				
\vec{F}_B Élingue droite \rightarrow Nacelle				

Bilan des actions mécaniques extérieures appliquées à la nacelle

On prendra comme échelle 1 cm pour 150 kN.

