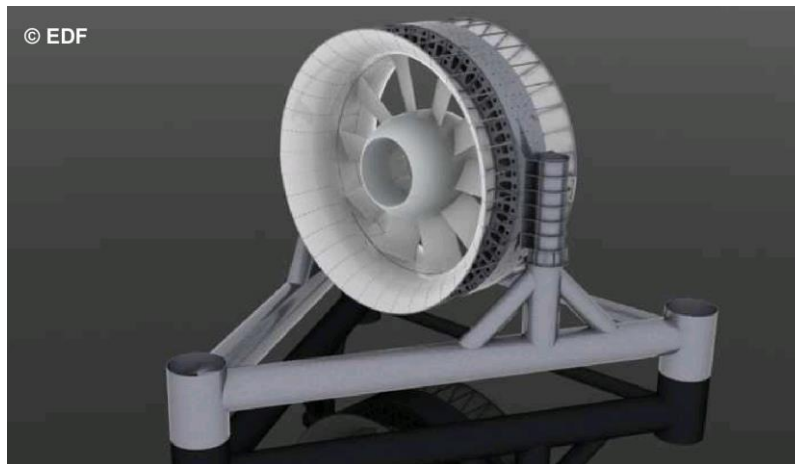


CONCOURS GÉNÉRAL DES LYCÉES

Session 2014

Durée 5 heures

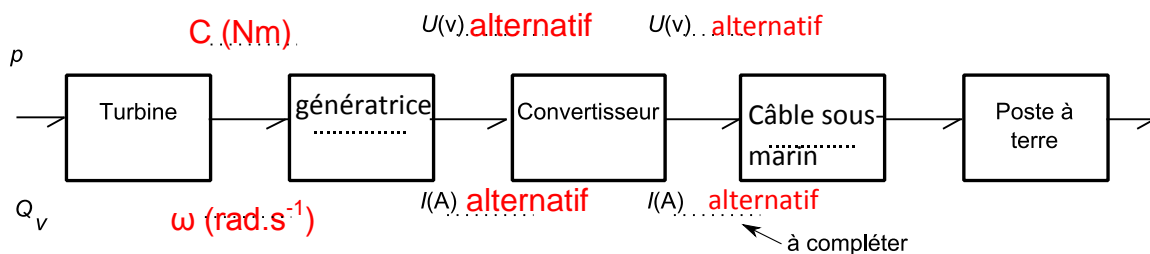
Corrigé



Poséidon au secours d'Éole pour produire l'énergie électrique

Partie 1 - analyse du besoin

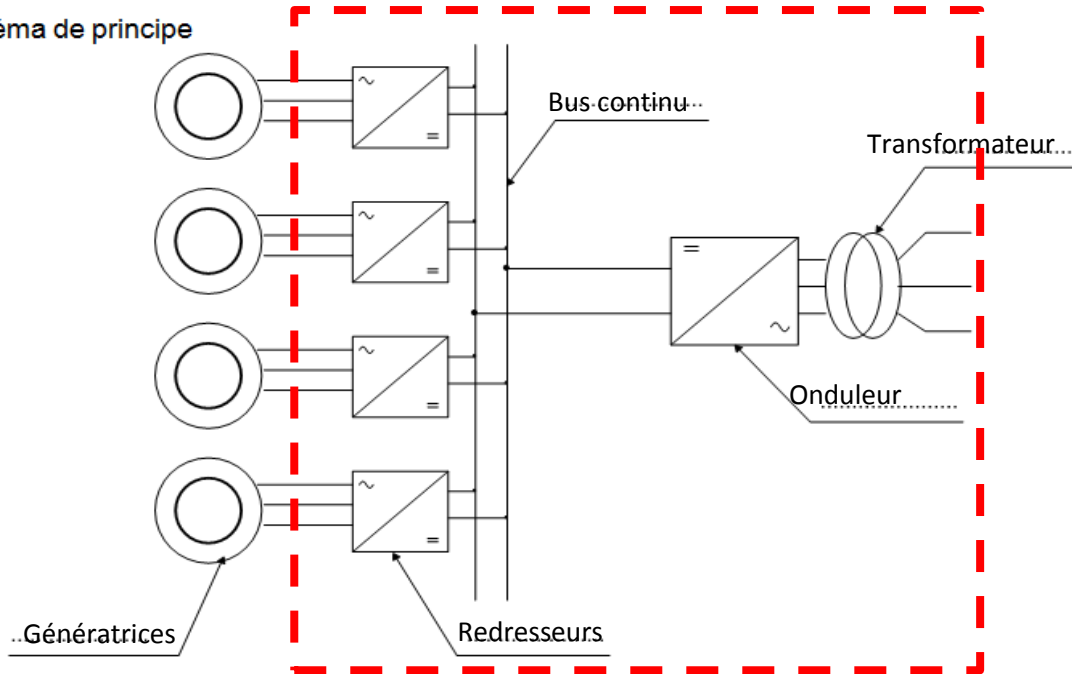
Q 1. À l'aide du diagramme FAST du document technique DT3, **compléter**, sur le document réponse DR1, la chaîne fonctionnelle en identifiant les composants des différentes parties. **Indiquer** la nature de l'énergie (électrique ou mécanique) et ses caractéristiques (exemple : courant, vitesse de rotation, ...).



→ lien de puissance : un lien de puissance véhicule deux informations dont le produit est une puissance; exemple U et I dans le domaine électrique

Q 2. Sur le schéma de principe du document réponse DR1, **tracer** la frontière du convertisseur. **Indiquer** les éléments suivants sur le schéma : machine synchrone, redresseur, bus continu, onduleur, transformateur.

Schéma de principe



Q 3. **Justifier**, à partir de l'introduction et des informations des documents techniques DT1 et DT2, le choix de technologie retenue par *Openhydro* et DCNS en relevant les atouts écologiques d'intégration dans le milieu marin.

Pas de partie visible en surface, navigation possible sur le site, peu d'impact sur les fonds (structure gravitaire) pas de fluide polluant dans les parties immergées pour réduire les contaminations en cas de fuite turbine tournant à faible vitesse avec un trou de passage des plus grands spécimens marins de la région.

Partie 2 - estimation des courants marins

Q 4. **Donner** la durée de la campagne de mesures, l'intervalle entre 2 mesures et le taux de décharge de la batterie.

Durée de la campagne de mesures : 100 jours

Intervalle entre 2 mesures : 10mn

Taux de décharge de la batterie : 0,5

Q 5. **Relever** sur la figure ci-dessus l'étendue de mesure maximale du capteur. **Comparer** avec les principales caractéristiques de l'hydrolienne. **Conclure** quant à la compatibilité de ces grandeurs.

-étendue de mesure maximale du capteur : 38,18m

-caractéristique de l'hydrolienne : « implantation dans la zone de plus fort courant à une profondeur d'environ 35 mètres » (DT1).

-compatibilité de ces grandeurs : le capteur est fixé sur les fonds à 35m et présente une étendue de mesure max d'environ 38m.

Q 6. **Donner** la quantité d'énergie consommée par le capteur sur la campagne définie ci-dessus. **Calculer** l'énergie consommée en 24 heures. **En déduire** l'autonomie maximale du capteur ADCP dans ce mode de fonctionnement.

La quantité d'énergie consommée par le capteur sur la campagne (100 jrs) définie est de 216,13 Wh.

En 24h : $E = 216.13 / 100 = 2,16$ Wh.

Autonomie du capteur : le taux de décharge annoncé est de 0,5 pour 100 jrs ce qui donne 200 jrs d'autonomie dans ces conditions d'utilisation. Ce qui correspond à une charge de la batterie max de 432,26 Wh.

Le tableau ci-dessous donne les caractéristiques de la mémoire interne du capteur :

Table A-5. Data Communication Specifications

Item	Specification
Interface	RS-232 or RS-422 serial communications
Baud rate	300 to 115,200 (9600 is default)
Input data format	ASCII commands (see Appendix-C)
Output data format	Binary or ASCII
Internal data storage	Capacity (Standard) 10, 20 or 40 megabytes PCMCIA flash memory cards (2). Total storage available = 80 megabytes.

Q 7. **Indiquer** la technologie de sauvegarde et le protocole de transfert des données vers le micro-ordinateur de récupération. **Définir** l'espace de stockage nécessaire donné par l'application pour une campagne de mesures complète telle que prévue plus haut. **Choisir** la carte PCMCIA qui convient.

Les mesures sont des données binaires. La transmission des données est faite par une liaison série (RS232). La sauvegarde se fait sur 2 cartes mémoire PCMCIA d'une capacité de 10 Mo chaque en standard.

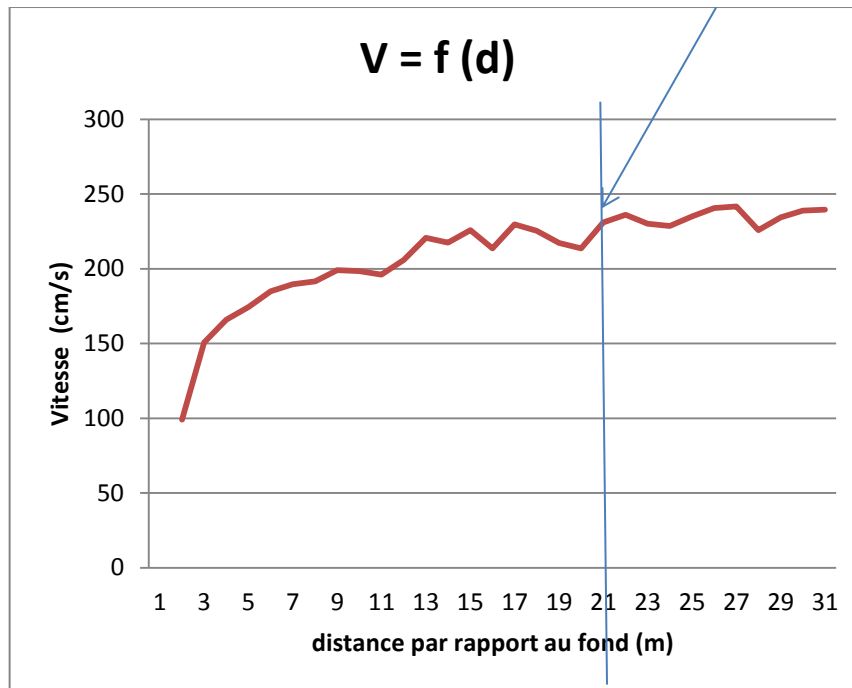
L'espace mémoire requis pour la campagne de mesure annoncée est de 27,11 Mo. La version standard ne convient pas ; On choisira 2 cartes de 20 Mo ou 1 carte de 40 Mo.

Exploitation des résultats de mesure :

Q 8. Voir courbe ci-dessous.

Q 9.

Le graphe nous montre une zone de forts courants à partir de 13m par rapport au fond. Le diamètre du disque est de 16m. On choisira une profondeur optimale sur un axe autour de 21m, soit une partie immergée à 29m du fond, préservant la navigation côtière. Le tirant d'eau restant est de $35m - 29m = 6m$.



Partie 3 - étude du productible

Q 10. **Rechercher** le diamètre de captage de la turbine. **Calculer** le coefficient de production que doit avoir la turbine pour répondre à cette contrainte du cahier des charges. Le maximum qu'il est possible d'extraire de l'énergie d'un fluide est limité par le coefficient C_p optimal de 0,56. Les coefficients C_p couramment utilisés sont de l'ordre de 0,3 à 0,4. Le calcul est-il acceptable ?

Diamètre de captage = 16 m

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 201 \text{ m}^2$$

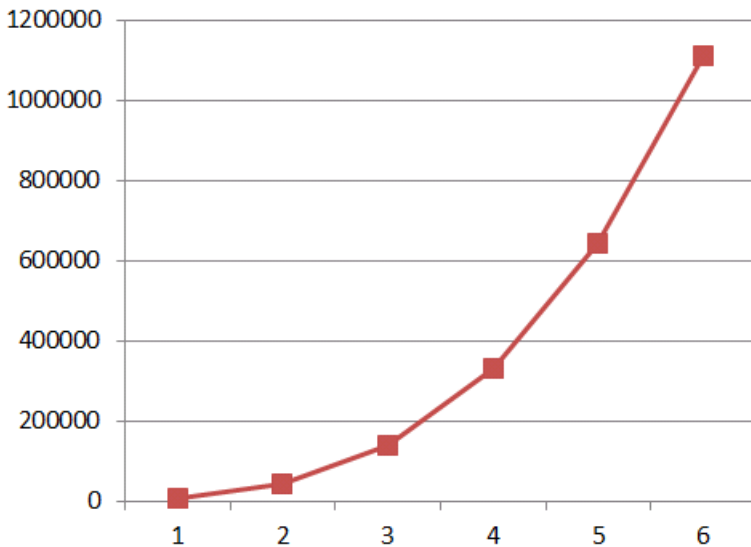
$$P_{\text{méca}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_p \cdot A \cdot V^3$$

$$C_p = \frac{2 \cdot P_{\text{méca}}}{\rho \cdot A \cdot V^3} = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 10^6}{1025 \cdot 201 \cdot 2,5^3} = 0,31$$

Pour la suite des questions, le coefficient de production C_p sera pris égal à 0,4.

Q 11. **Calculer** les puissances mécaniques extractibles pour une valeur de vitesse de courant de $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. **Identifier** le paramètre le plus important à partir de l'équation et **conclure**.

0,5	5150,6
1	41205
1,5	139066,8
2	329640
2,5	643828
3	1112535



La vitesse est le paramètre le plus important.

Q 12. L'exploitation des résultats d'analyse des courants sur le site de Paimpol-Bréhat nous donne une valeur moyenne de vitesse des courants de $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. **Calculer** l'énergie mécanique moyenne extractible des courants par an en MWh.

$$P_{\text{méca}} \times t = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_p \cdot A \cdot V^3 \times (365 \times 24) = 0,5 \cdot 1025 \cdot 201 \cdot 1 \cdot (365 \cdot 24) = 352 \text{ MWh}$$

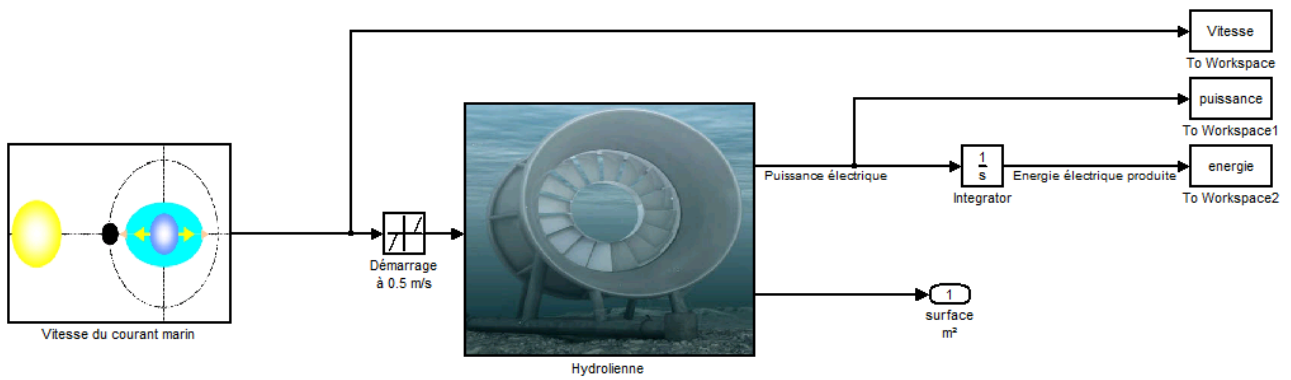
Q 13. En considérant que la machine synchrone a un rendement de 95 % et que le convertisseur a un rendement de 100 %, **calculer** l'énergie produite par une hydrolienne sur une année, en MWh. L'objectif de produire 1GWh par an est-il envisageable ?

$$E = 352 \cdot 0,95 = 334 \text{ MWh pour une hydrolienne.}$$

Avec 4 hydroliennes, l'objectif est atteint avec 1,34 GWh.

Pour affiner le productible, et utiliser une meilleure modélisation de la vitesse des courants marins, le modèle suivant intègre les paramètres de la relation de Froude et le rendement d'une machine avec le convertisseur. Le démarrage de la turbine intervient pour un courant de $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. L'énergie électrique productible est obtenue en intégrant la puissance par rapport au temps.

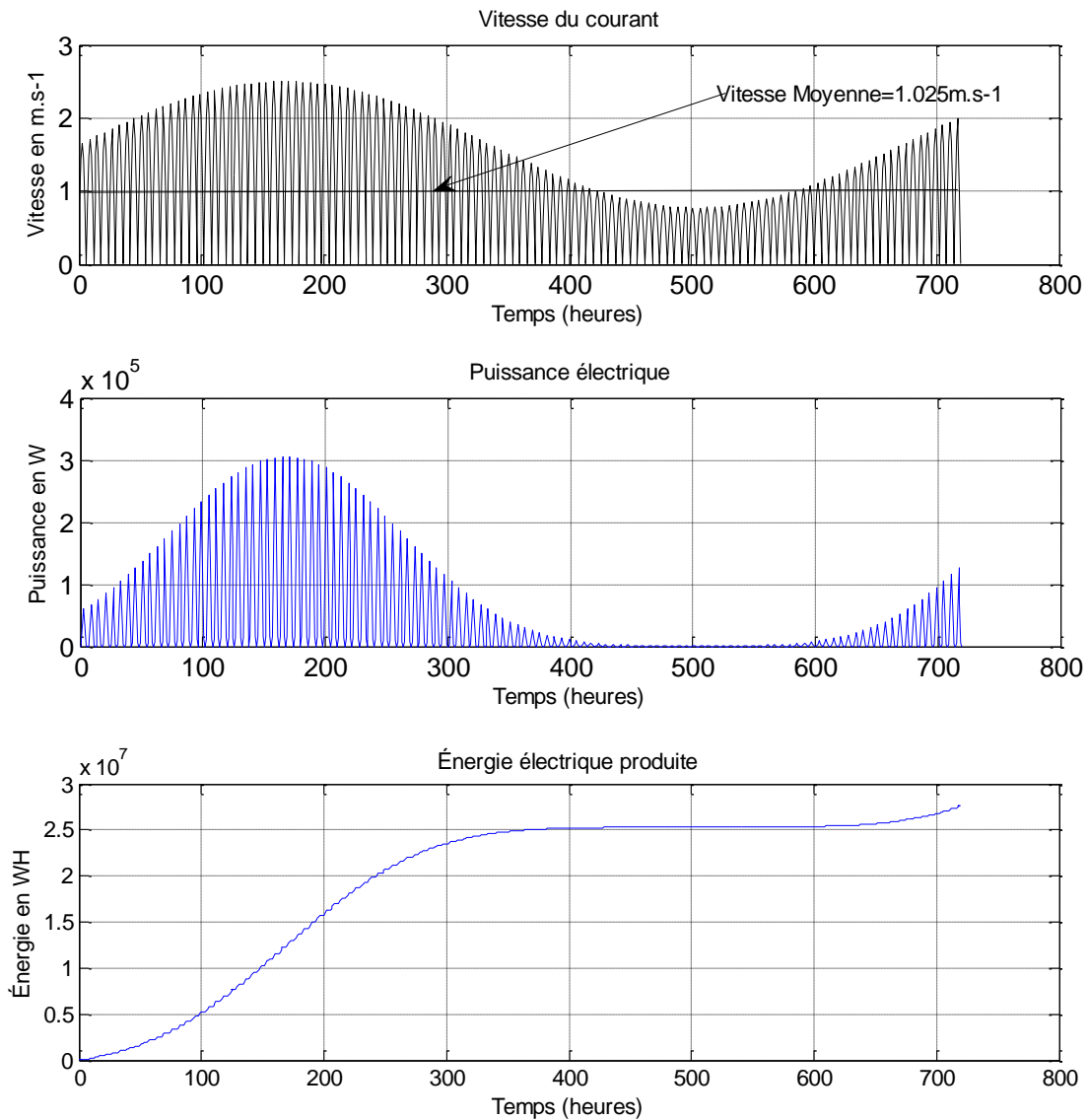
Estimation du productible pour une hydrolienne



Modélisation du productible sur un mois pour une hydrolienne du démonstrateur de Paimpol-Bréhat :

Paramètres du modèle de marée

- Courant maximum = $2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;
- Coefficient de marée moyen variant de 95 à 45 sur un mois lunaire de 28 jours.



Q 14. **Calculer à partir du graphe** la valeur affinée de l'énergie électrique produite sur un mois puis sur une année. **Commenter** ce modèle par rapport au calcul précédent basé sur la valeur moyenne de la vitesse des courants.

Energie sur un mois = 27,5 MWh

Energie sur une année = $27,5 \times 12 = 330$ MWh

Le résultat est sensiblement le même. La prise en compte du démarrage à $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a peu d'influence sur le productible.

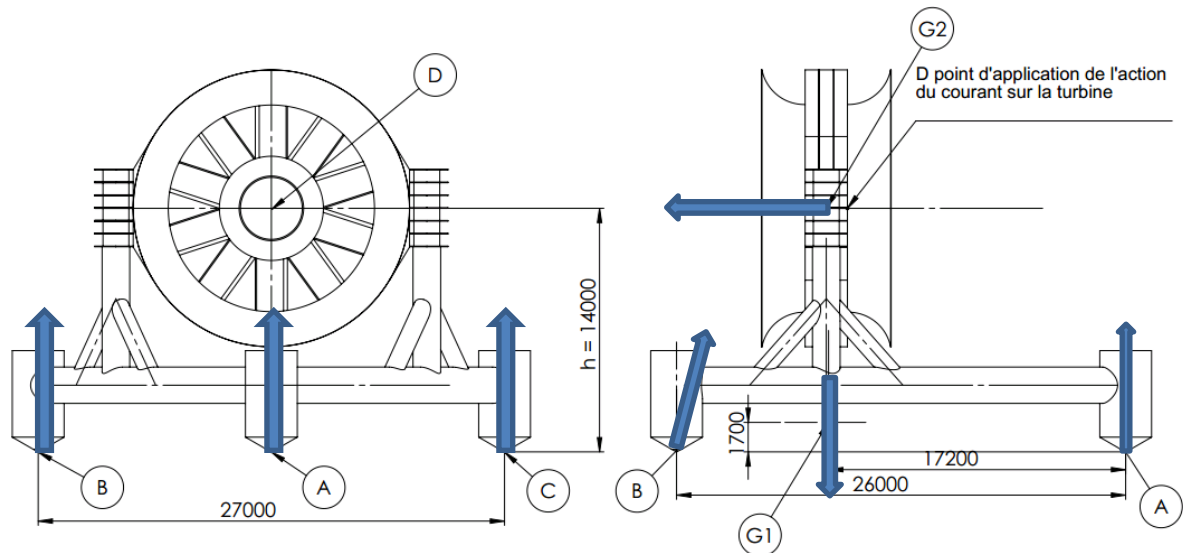
Q 15. **Déterminer** la production annuelle du démonstrateur composé des quatre hydroliennes en considérant que les courants sont identiques dans les zones d'implantation des machines. **Conclure** sur l'utilité d'utiliser une modélisation fine de l'énergie productible.

Production annuelle du démonstrateur : $330 \times 4 = 1,32$ GWh

L'ensemble des paramètres de la machine sont pris en compte ce qui permet de cibler l'optimisation des solutions techniques pour atteindre les objectifs.

Partie 4 - étude de la stabilité de la structure

Q 16. **Modéliser** les actions mécaniques appliquées sur l'ensemble hydrolienne et tripode. **Représenter** les actions mécaniques sur le document réponse DR3.



Q 17. Par la méthode de votre choix, **exprimer** littéralement les moments du poids de la structure, de l'action de l'eau sur la turbine et de la réaction du fond gravitaire par rapport au point E en projection sur x.

$$\begin{aligned} \overline{M}_E(\text{sol}_A \rightarrow \text{turbine}) &= -26 \cdot Z_A \\ \overline{M}_E(\text{pesanteur} \rightarrow \text{turbine}) &= 8,8 \cdot M \cdot g \\ \overline{M}_E(\text{eau} \rightarrow \text{turbine}) &= -14 \cdot Y_D \end{aligned}$$

Q 18. **Appliquer** le principe fondamental de la statique sur l'ensemble composé de l'hydrolienne et de la structure porteuse, pour exprimer les conditions d'équilibre de la structure.

$$\begin{aligned} \overline{M}_E(\text{sol}_A \rightarrow \text{turbine}) + \overline{M}_E(\text{pesanteur} \rightarrow \text{turbine}) + \overline{M}_E(\text{eau} \rightarrow \text{turbine}) &= \vec{0} \\ -26 \times Z_{A_{S \rightarrow t}} + 8,8 \times M \times g - 14 \times Y_D &= 0 \end{aligned}$$

Q 19. **Expliciter** la condition de non-basculement de l'hydrolienne puis **calculer** l'effort de l'eau sur la turbine que peut supporter l'hydrolienne avant que la structure gravitaire ne remplisse plus son rôle de stabilisateur.

La condition de non basculement est : $Z_{A_{S \rightarrow t}} \geq 0$

$$Y_D = \frac{8,8 \times M \times g}{14} = 5154 \text{ kN}$$

Les fondations gravitaires ne remplissent plus leur rôle si l'action de l'eau dépasse 5154 KN.

Q 20. **Vérifier** que cette valeur n'est pas dépassée quand la vitesse du courant est de $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, condition maximale de fonctionnement attendue pour les hydroliennes du projet du raz Blanchard. L'action du courant sur l'hydrolienne est alors de 1500 kN. **Conclure** en calculant le coefficient de sécurité retenu pour les fondations gravitaires dans ce cas.

1500 < 5154 stabilité largement assurée. Coefficient de sécurité = 3,4.
 Les machines du démonstrateur sont déjà dimensionnées pour le projet industriel du Raz Blanchard. Le coefficient de sécurité permettra d'assurer la fiabilité des fondations en cas d'effets de courant locaux sur la large zone exploitable du Raz Blanchard.

Partie 5 - guidage en rotation de la turbine sur palier hydrodynamique

Q 21. L'inclinaison du blochet permet de créer une pression dans le fluide. En vous aidant du document technique DT7, **relever** sur le document réponse DR5 la valeur de p' maximale et la valeur du rapport $a = \frac{h_1}{h_2}$ correspondant.

$p' = 0,26$ pour un rapport $a = 2,4$.

Q 22. En interprétant la représentation détaillée du palier hydrodynamique de l'hydrolienne du document technique DT5, **calculer** le rayon moyen de la surface de la butée axiale, la longueur B de l'arc de cercle d'un blochet sur la ligne moyenne de la surface de guidage de la turbine. **Calculer** la largeur L de la surface de guidage sur la turbine.

$R_{\text{moy}} = 7050 \text{ mm}$

$B = \text{angle} \cdot R_{\text{moy}} = \frac{3 \cdot 2 \cdot \pi}{360} \cdot 7050 = 369,13 = 370 \text{ mm}$

$L = 700 \text{ mm}$

Q 23. **Calculer** l'effort W sur un blochet de la butée sachant que l'effort axial de la turbine sur le bâti est réparti uniformément sur la périphérie de l'hydrolienne.

W pour un blochet = $1500 / 72 = 20,8 \text{ kN}$.

Remarque importante : pour une butée réversible tournant dans les deux sens, le blochet est symétrique. La dépression provoquée par la sortie du fluide engendre une diminution des performances. Pour ce type de patin et à surface égale, la capacité de charge est environ 65% de celle obtenue pour un patin formé d'un seul plan incliné.

La charge utilisée pour le calcul sera $W = \frac{W_{\text{réel}}}{0,65}$

Pour la suite de l'étude, W sera égal à 32 kN.

Q 24. **Calculer** la vitesse tangentielle en mètre par seconde du centre du blochet au niveau de la ligne moyenne de celui-ci.

$$V = R_{\text{moy}} \cdot \omega = 7 \cdot \frac{7,2 \cdot \pi}{30} = 5,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Q 25. **Relever** sur le document réponse DR5 W' , l'effort supporté sans unité avec le rapport « a » optimal déterminé précédemment. À partir de l'expression de W en fonction de W' du document technique DT7, **calculer** l'épaisseur du film d'eau h_2 entre le stator et le rotor. La viscosité μ de l'eau de mer est de $10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$.

$$a=2.6$$

$$w'=6/(a-1)^2 \cdot (\log(a) - 2 \cdot ((a-1)/(a+1))) = 0,156 \quad \text{par le calcul , vérifié graphiquement sur DR5.}$$

$$\mu = 0.001002 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$B=0.37\text{m}$$

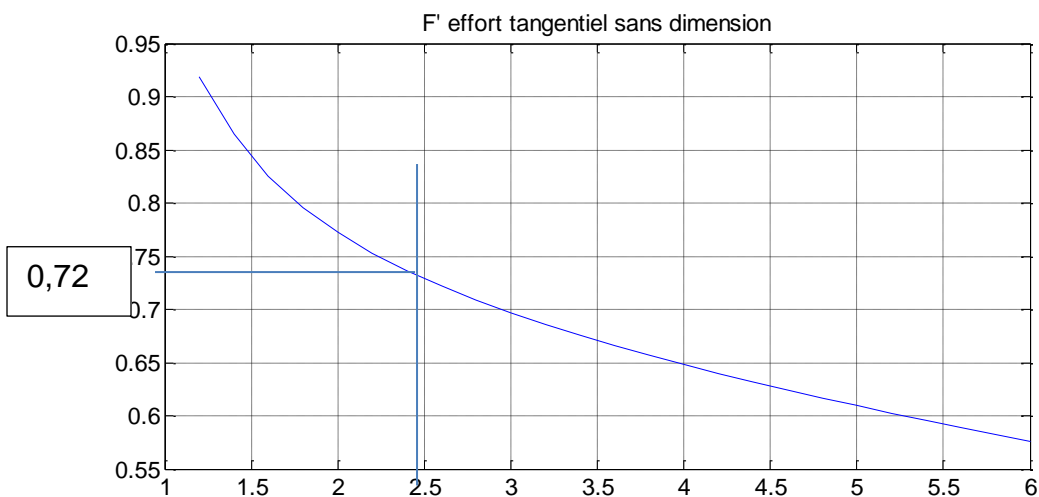
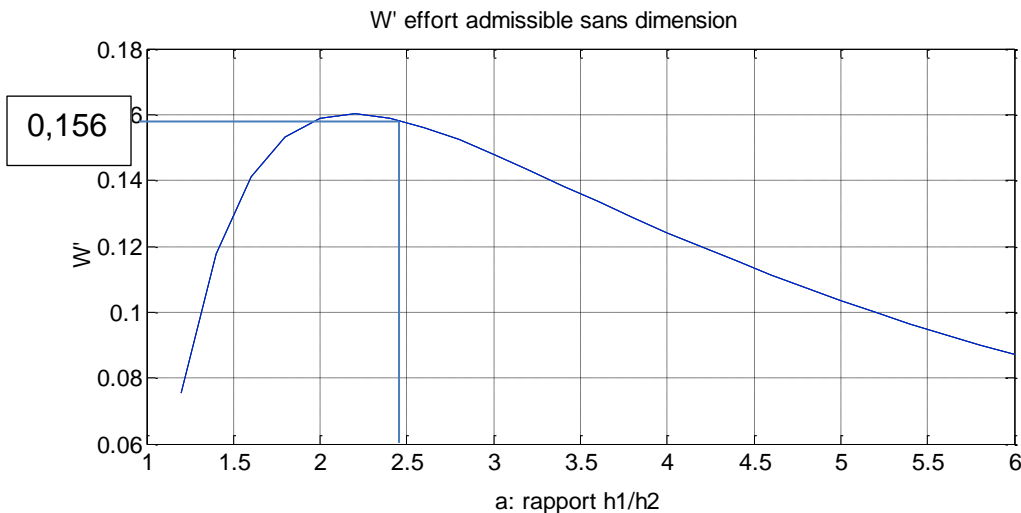
$$\text{Vitesse périphérique } V=5.3 \text{ m/s}$$

$$\text{charge}=2000 \text{ N}$$

$$W=\text{charge}/0.65=3200\text{N}$$

$$h_2 = \sqrt{\frac{W' \cdot \mu \cdot V \cdot L \cdot B^2}{W}} = \sqrt{\frac{0,156 \cdot 0,001 \cdot 5,3 \cdot 0,7 \cdot 0,37^2}{3200}} = 0,157 \text{ mm}$$

L'épaisseur du film d'eau de mer dans le palier est de 0,157 mm.



Q 26. Sur le document réponse DR5, avec les données des questions précédentes, **relever** le coefficient F' (effort tangentiel sans dimension de frottement exercé par le fluide sur le blochet). **Calculer** F (l'effort tangentiel) à l'aide de la relation du document technique DT7.

$$F' = 0.7221 \quad F' = \frac{F \cdot h_2}{\mu \cdot V \cdot L \cdot B} \quad F = \frac{F' \cdot \mu \cdot V \cdot L \cdot B}{h_2} = 6,3 \text{ N}$$

L'effort tangentiel sur un blochet est de 6,3 N.

Q 27. **Calculer** le couple exercé par l'effort tangentiel sur la turbine par un blochet puis par les 72 blochets.

$$C = F \cdot x \cdot R_{\text{moy}} = 6,3 \times 7 = 44,2 \text{ N.m}$$

Pour les 72 blochets : $44,2 \times 72 = 3182 \text{ N.m}$

Q 28. **Calculer** la puissance dissipée par frottement, par les blochets en régime nominal.

$$P = c \cdot w = C \cdot 7,2 \cdot \pi / 30 = 3182 \cdot 7,2 \cdot \pi / 30 = 2399 \text{ W} \quad C = F \cdot x \cdot R_{\text{moy}}$$

Q 29. **Calculer** le rendement mécanique de la butée axiale de l'hydrolienne en partant de la puissance théorique disponible de 0,5 MW en régime établi avec le courant à $2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

$$\text{Rendement} = \frac{P_e - P_{\text{guidage}}}{P_{\text{mer}}} = \text{rendement}$$

$P_e = 0,5 \text{ MW}$
 $(500 - 2,399) / 500 = 0,995$ rendement de 99,5% excellente performance du guidage.

Étude du guidage en rotation:

Q 30. Avec les données du document technique DT8, **calculer** le volume immergé de la turbine composée du rotor et des venturis. **Vérifier** que la poussée d'Archimède sur l'ensemble compense le poids. **Conclure** sur le guidage radial de la turbine dans le stator.

$$\begin{aligned} \text{Volume turbine} &= 117780 \text{ décimètre cube} \\ \text{Volume venturi} &= 785 \text{ décimètre cube} \\ \text{Volume total} &= 117780 + (2 \times 785) = 119350 \text{ décimètre cube} \\ \text{Poussée d'Archimède} &= 119350 \times 1,025 \times 9,81 = 1200000 \text{ N} \\ \text{Poids} &= 120000 \times 9,81 = 1177200 \text{ N} \end{aligned}$$

La poussée d'Archimède dépasse le poids de l'ensemble turbine + venturi. Les efforts sur le palier seront aisément supportés par le guidage hydrodynamique. Cette poussée facilitera le démarrage en début de marée quand la vitesse est faible.

Q 31. Au regard de l'étude menée dans toute cette partie sur le guidage par palier hydrodynamique, **conclure** sur l'efficacité de cette solution pour répondre au besoin attendu en rédigeant une synthèse sur le fonctionnement et sur les performances.

La solution retenue semble intéressante car :

- Les pertes sont très faibles ;
- le guidage se fait avec un minimum de pièces ;
- les efforts radiaux sont faibles compte tenu de la poussée d'Archimède ;
- Le guidage sans éléments roulants rend la maintenance plus simple et augmente la fiabilité de la turbine.

Par les grandes dimensions de la turbine, la vitesse périphérique au niveau de la butée permet d'obtenir un fonctionnement sur palier hydrodynamique. Le choix des matériaux devra permettre une bonne résistance à l'usure pendant le démarrage de la turbine. Le choix d'implantation du démonstrateur sur des fonds granitiques évite la présence de sable dans le palier. En régime établi, les performances sont excellentes et le défi réside dans la fiabilité à long terme.

Si la résistance au milieu subaquatique est assurée, ce palier hydrodynamique remplit parfaitement les objectifs. L'absence de lubrifiant contribue à la protection de l'environnement.

Partie 6 - raccordement au réseau RTE

L'objectif de cette partie est l'étude du raccordement au réseau de distribution de l'électricité. L'énergie produite par les hydroliennes doit pouvoir être injectée sur le réseau sans le perturber. Il faut maîtriser les pertes d'énergie pendant le transport.

Le démonstrateur de Paimpol-Bréhat doit être raccordé à un poste à terre par un câble sous-marin. Pour la phase industrielle sur le Raz-Blanchard, le choix géographique du raccordement sur le réseau sera primordial. L'injection sur le réseau ne peut se faire que sur des postes suffisamment importants. Il est donc nécessaire d'identifier les possibilités de raccordement.

Les fonctions convertir et adapter le signal électrique sont assurées par le convertisseur développé par la société Convertteam (voir modèle sur le document technique DT9 fig.3). Son rôle est d'adapter l'énergie électrique produite pour permettre le raccordement sur le réseau à une fréquence de 50 Hz et une tension adaptée pour le transport de l'électricité.

Les quatre hydroliennes ne vont pas parfaitement tourner à la même vitesse.

Q 32. Donner le rôle des composants L1 et C (voir document DT9).

Filtrage

Étude de la modulation de largeur d'impulsion (MLI) :

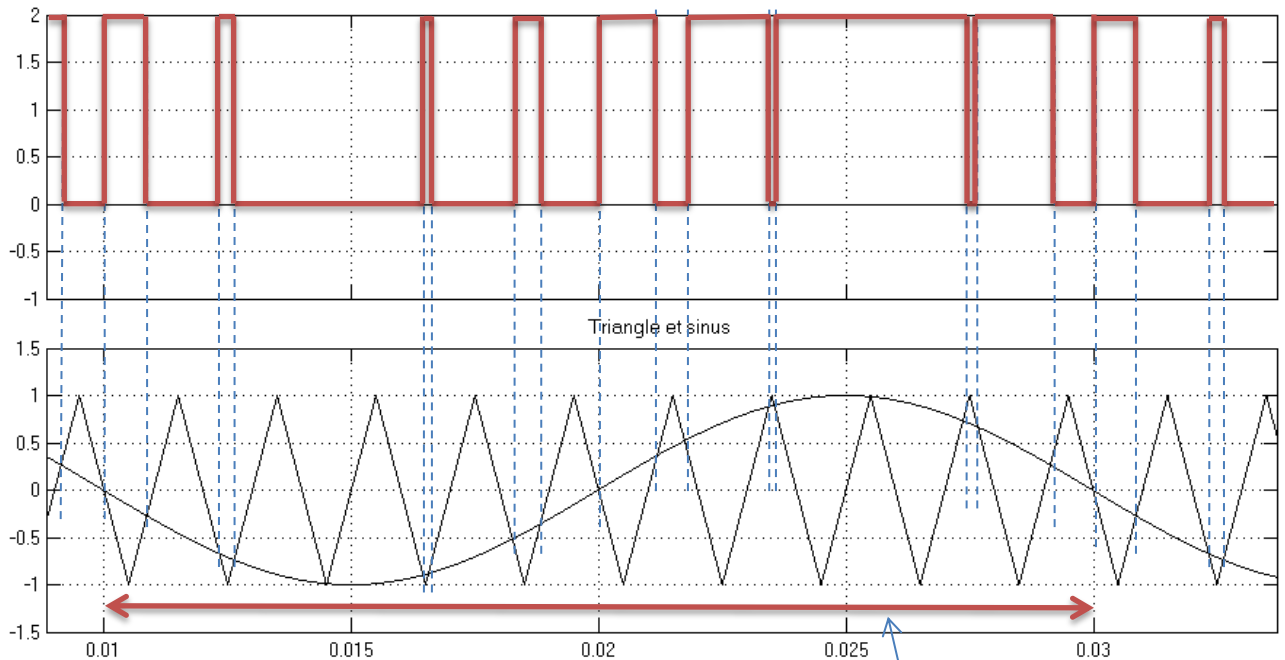
La tension continue récupérée aux bornes de C est transformée en signal alternatif sinusoïdal de fréquence 50 Hz. La commande de la partie puissance par IGBT¹ est obtenue par comparaison d'un signal triangulaire avec un signal sinusoïdal. La largeur des impulsions du signal de sortie varie alors au rythme de l'amplitude du signal sinusoïdal selon l'algorithme suivant :

Si $\text{signal}_{\text{triangle}} > \text{signal}_{\text{sinus}}$
Alors sortie = 0

¹ IGBT = Insulated gate bipolar transistor

Sinon sortie = 1
Fin Si

Q 33. **Compléter** le chronogramme de sortie sur le document réponse DR4 (Etat logique haut : 2 V, état logique bas : 0V).



Q 34. **Relever** la période du signal sinusoïdal qui pilote la MLI : $T = 20$ ms.

Calculer sa fréquence : $F = 1/T = 50$ Hz

Conformité avec le cahier des charges : correspond à la fréquence du réseau électrique français.

La cellule « PWM IGBT Inverter » est décrite par le schéma équivalent suivant :

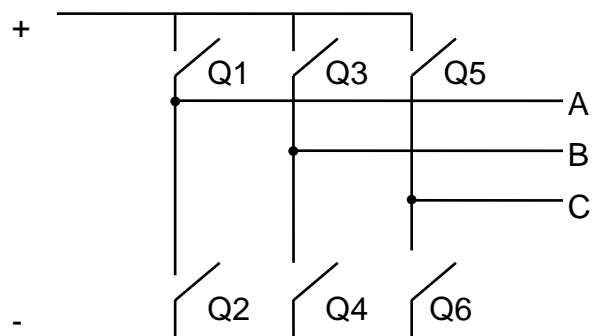
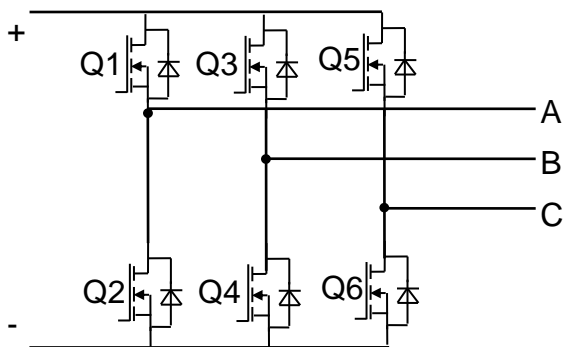


Tableau de commande de la MLI :

Q 35. Le tableau du document réponse DR4 représente les états des interrupteurs (1 = fermé, 0 = ouvert) correspondant aux niveaux de tension attendus en A, B, C. Les états des interrupteurs pour la sortie V_{AB} et V_{BA} sont reportés. **Compléter** le tableau pour les autres sorties.

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
V _{AB}	1	0	0	1	0	0
V _{BA}	0	1	1	0	0	0
V _{BC}	0	0	1	0	0	1
V _{CB}	0	0	0	1	1	0
V _{AC}	1	0	0	0	0	1
V _{CA}	0	1	0	0	1	0

Q 36. Le dimensionnement du convertisseur MLI a été réalisé en laboratoire sur les outils de modélisation. Un premier résultat (document technique DT11 fig.5 et fig.6) nous donne le graphe de la tension de sortie de la cellule de filtrage après le convertisseur pour 2 réglages différents du filtre. Celui de la figure 5 du document technique DT11 présente des caractéristiques (tension – fréquence) fortement perturbées : le taux de distorsion harmonique² (THD) est supérieur à 50 %. La cellule « LC filter » est décrite dans le document technique DT11 fig.7.

Proposer une modification des paramètres pour réduire le niveau du signal harmonique à celui de la figure du document technique DT11 fig.6 (THD = 1,84) : Augmenter la valeur de la bobine d'un facteur 1000, en la dimensionnant à 2 mH.

Bilan des puissances

Le calcul de la puissance en sortie du convertisseur triphasé est donné par l'expression :

$P=3 \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi$, avec V : Valeur efficace de la tension $v(t)$ entre phase et neutre
 I : Valeur efficace du courant $i(t)$ par phase
 φ : Retard du courant $i(t)$ par rapport à la tension $v(t)$

La valeur efficace d'un signal sinusoïdal est donnée par l'expression :

$$V_{\text{eff}} = \frac{V_{\text{max}}}{\sqrt{2}}$$

Analyse des signaux produits par le démonstrateur (Document technique DT10 fig.4) :

Q 37. **Déterminer** à l'aide des chronogrammes le retard du courant par rapport à la tension : les signaux sont en phase soit 0°

En déduire la puissance disponible fournie au poste d'atterrage :

$$P=3 \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi = 3 \cdot \frac{700}{\sqrt{2}} \cdot \frac{500}{\sqrt{2}} \cdot \cos 0 = 525 \text{ KW}$$

Soit pour les 4 démonstrateurs : 2100 KW.

² Taux de distorsion harmonique : rapport de la valeur efficace globale des harmoniques par rapport à la valeur efficace de la composante fondamentale.

Q 38. Une résistance de charge triphasée est mise en place en sortie de l'onduleur. Celle-ci est connectée via un contacteur de puissance piloté par la tension réseau. En cas d'absence de tension du réseau, le contacteur se ferme. Quel est le rôle de cette résistance dite ballast ?

Maintenir la génératrice en charge en cas de rupture de câble réseau.

Q 39. **Calculer** les pertes par effet Joule dans le câble triphasé d'une longueur de 15 kilomètres pour le démonstrateur de Paimpol-Bréhat composé des quatre hydroliennes :

$$R = 1710^{-9} \cdot 15 \cdot 10^3 / 240 \cdot 10^{-6} = 1,06 \ \Omega,$$

Tension 10KV (en sortie du convertisseur), puissance théorique 2 MW

$$\rightarrow I = P/3U = 2 \cdot 10^6 / 3 \cdot 10 \cdot 10^3 = 66,666A$$

$$\rightarrow P = 3RI^2 = 3 \cdot 1,06 \cdot 66,66^2 = 14,15 \text{ KW} \lll 2 \text{ MW soit } 0,7\%$$

Étude du raccordement au réseau :

Q 40. À partir de la carte du réseau RTE de l'ouest de la France du document technique DT12, **analyser** la zone permettant le raccordement du parc hydrolien. L'énergie produite étant prédictible, quelles mesures devront être prises pour respecter l'équilibre du réseau.

Les installations du réseau RTE pourront accueillir les premières expérimentations des parcs hydroliens. Le réseau en 400 kV est bien implanté sur le Cotentin pour le nucléaire. Pour un déploiement industriel de l'hydrolien, des installations supplémentaires devront être planifiées.

Le mix énergétique est de plus en plus diversifié. Pour respecter l'équilibre du réseau, les gestionnaires d'énergie de RTE devront réduire certains moyens de production d'électricité. L'aspect prédictible de la production d'électricité hydrolienne est un atout sur les autres énergies renouvelables non prédictibles. De plus, la décentralisation de la production peut permettre d'éviter la construction de ligne haute tension et fiabiliser les réseaux « isolés » comme le réseau breton.

Partie 7 : conclusion

Q 41. Les aspects économiques peuvent freiner le lancement d'une nouvelle technologie. **Analyser** le potentiel économique de l'hydrolien à long terme, quand la technologie encore expérimentale passera à la phase industrielle.

Source DGEC et EDF

	Eolien terrestre	Eolien offshore	Hydrolien
Coût de l'énergie	Entre 63 et 77 €/MWh Selon l'âge des installations	104 €/MWh	78 €/MWh (phase industrielle en 2020)

Durée de fonctionnement	2400 heures	2800 heures	3000 heures
Disponibilité : Prédicible/ aléatoire	Aléatoire	Aléatoire	Prédicible
Tarif de rachat par EDF	82 €/MWh sur 10 ans	130 €/MWh sur 10 ans	150 €/MWh sur 20 ans

Le coût de l'énergie hydrolienne annoncé est compétitif. Le prix de rachat par EDF est le plus fort à 150 €/MWh. La durée du contrat de rachat, avec une durée de 20 ans, est également rassurante pour les investisseurs. L'hydrolien est la seule énergie renouvelable prédictible à long terme, élément fondamental pour le gestionnaire de réseau. En phase industrielle, quand les fermes hydroliennes seront opérationnelles, l'hydrolien sera rentable. Le potentiel économique de l'hydrolien est intéressant mais les sites exploitables sont limités.

Q 42. La création d'une nouvelle filière de production d'énergie comporte des risques pour les investisseurs. Au vu des différentes parties traitées, **conclure** quant à la faisabilité d'une production d'énergie hydrolienne en tenant compte des enjeux « géo-technico-économiques » liés à la rentabilité et des aspects environnementaux spécifiques aux hydroliennes.

L'énergie hydrolienne présente beaucoup d'atouts et également de nombreux inconvénients liés au milieu subaquatique. Les objectifs de réduction des gaz à effet de serre ainsi que la diminution de l'énergie nucléaire en France passent obligatoirement par des innovations et l'hydrolien sera incontournable dans les prochaines années.

Pour les usagers, la protection de l'environnement passe par l'acceptation de nouveaux moyens de production d'énergie. Les hydroliennes sont très discrètes car immergées.

Pour les des grands groupes industriels français, la filière hydrolienne présente un nouveau potentiel économique qu'il faut saisir. Les projets devront intégrer les enjeux du développement durable en créant des emplois à proximité des fermes hydroliennes.

Les aspects environnementaux sont très positifs avec peu de nuisances. Dans les enjeux politiques actuels de réduction d'émission de CO₂, l'hydrolien doit être développé.