

# CONCOURS GÉNÉRAL DES LYCÉES

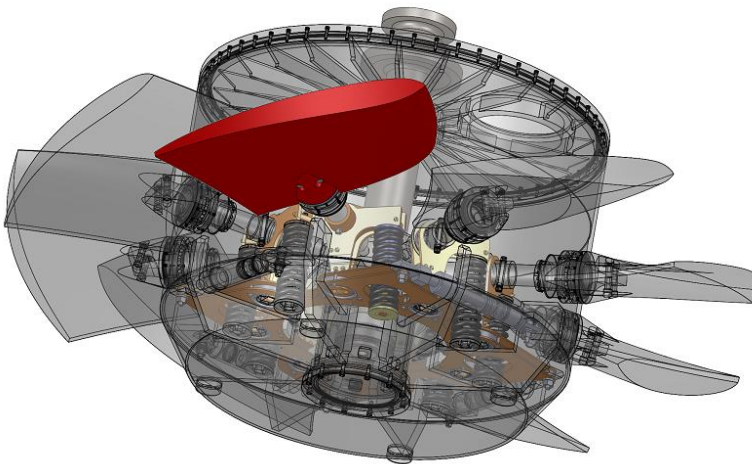
## SESSION 2013

Sciences de l'ingénieur  
Durée : 5 heures

*Aucun document n'est autorisé.*

*Le matériel autorisé comprend toutes les calculatrices de poche, y compris les calculatrices programmables alphanumériques ou à écran graphique, à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante, conformément à la circulaire n° 99-181 du 16 novembre 1999.*

« **L'eau, une énergie qui coule de source** »



### Contenu du dossier

Sujet et questions : 20 pages  
Documents ressources : 4 pages (DRS1 à DRS4)  
Documents techniques : 6 pages (DT1 à DT6)  
Documents réponses : 4 pages (DR1 et DR4)

### Conseils au candidat

Vérifier que tous les documents définis ci-dessus sont présents.  
La phase d'appropriation d'un système pluri technique passe par la lecture attentive de l'ensemble du sujet. Il est fortement conseillé de consacrer au moins 30 minutes à cette phase indispensable de découverte.

# 1. PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE

## 1.1 INTRODUCTION

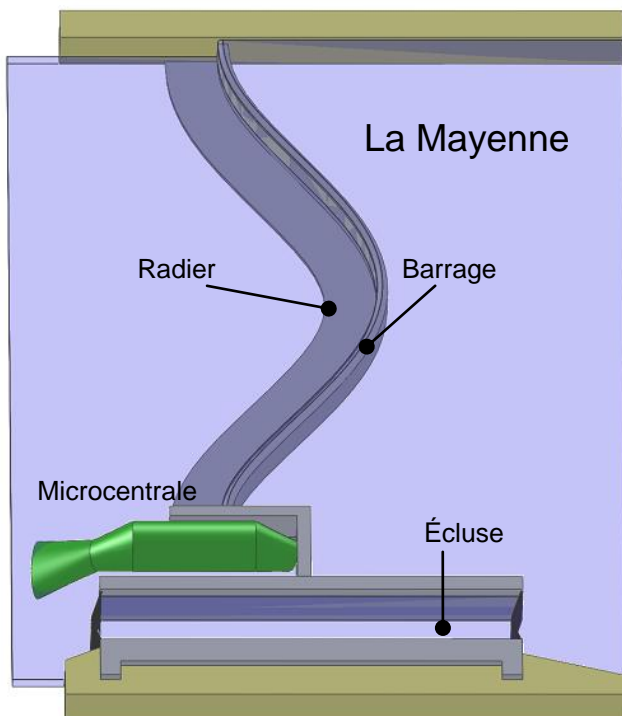
Aujourd'hui, le développement des énergies renouvelables (EnR) est devenu une nécessité. La lutte contre l'effet de serre, la forte hausse de la demande énergétique mondiale annoncée par les experts, la dépendance nationale à l'égard des importations en énergies fossiles constituent des arguments majeurs dans ce sens.

Au niveau européen, la directive du 27 septembre 2001 fixait l'objectif d'une augmentation de 14 % (en 1997) à 22,1 % (en 2010) de la part de l'électricité d'origine renouvelable, dans la consommation brute d'électricité de l'Union Européenne.

En juillet 2008, le ministre de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire a présenté un plan de relance de la production hydroélectrique, dans le droit fil des conclusions du Grenelle de l'environnement : en 2020, la production annuelle devrait avoir augmenté de 7 TWh. Pour atteindre cet objectif, la puissance du parc français devra augmenter de 2500 MW.

## 1.2 CONTEXTE ET ENJEUX

L'étude porte sur la mise en place d'un nouveau type de turbine adapté aux très basses chutes d'eau dite VLH (Very Low Head) en lieu et place des anciens groupes *siphons* implantés dans les années 1960 sur la Mayenne. Le projet est porté par la société SHÉMA (Société Hydraulique d'Étude et de Missions d'Assistance), filiale du groupe EDF, qui gère plus de 70 centrales hydroélectriques réparties sur tout le territoire national.



Implantation d'un groupe *siphon*



Vue d'un ancien groupe *siphon*



Vue d'une VLH en fonctionnement

Le groupe *siphon* est remplacé par une grande roue de 3 à 5 m de diamètre inclinée à 45° et possédant une très faible vitesse de rotation (34 tr/min). Cette turbine est adaptée aux très basses chutes d'eau et permet de produire de l'énergie avec de très faibles vitesses d'écoulement (< 2 m/s). Ces particularités techniques font du modèle VLH une turbine « ichtyophile » (ou amie des poissons) et nécessite peu de travaux de génie civil pour assurer sa mise en place. Totalement submergée, la machine a un fonctionnement très silencieux et un impact visuel réduit.

Ce changement de turbine s'inscrit dans le cadre du renouvellement des concessions (autorisation d'exploiter) qui constitue une opportunité pour améliorer les performances. Les candidats à l'exploitation devront impérativement répondre à trois exigences :

- une exigence absolue de sécurité des installations ;
- une exigence d'efficacité énergétique afin d'exploiter au maximum le potentiel de production des barrages français ;
- une exigence d'exemplarité en termes de qualité des eaux, de respect de l'environnement et des écosystèmes.

### 1.3 PRODUCTION HYDROÉLECTRIQUE SUR LA MAYENNE

La rivière est jalonnée par 16 aménagements hydroélectriques réalisés par EDF entre 1959 et 1965 et fonctionnant au fil de l'eau. Les hauteurs de chute, comprises entre 1,50 m et 2,75 m, classent ces ouvrages dans la catégorie « très faibles chutes d'eau ».

Implantation	Sites	Hauteur de chute (m)
	Saint Baudelle	1,98
	Grenoux	1,80
	Roche	1,74
	Boussard	1,84
	Corçu	2,16
	Bas-Hambert	1,50
	Communes	2,59
	Port	1,82
	Nourrière	2,00
	Verrerie	1,99
	Richardière	2,71
	Fourmondière sup.	2,75
	Fourmondière inf.	2,70
	Oger	2,04
	L'ame	1,82
	Maignannerie	2,01

La Mayenne est habitée par de nombreuses espèces de poissons, dont l'anguille. L'anguille, autrefois très abondante, est maintenant une espèce protégée car en voie de disparition.

L'Union Européenne a édicté un règlement instituant des mesures permettant la reconstitution du stock. C'est un règlement ambitieux qui fixe un objectif d'échappement des géniteurs de 40 %. À ce titre, le plan national devra présenter des mesures pour réduire toutes les sources de mortalité.

La Mayenne a été clairement identifiée comme une rivière dont les ouvrages hydroélectriques existants sont une source potentielle de mortalité des anguilles adultes lors de leur dévalaison.

La turbine VLH permet de régler quasi définitivement le problème de dévalaison<sup>1</sup> de par son caractère « ichtyophile ».

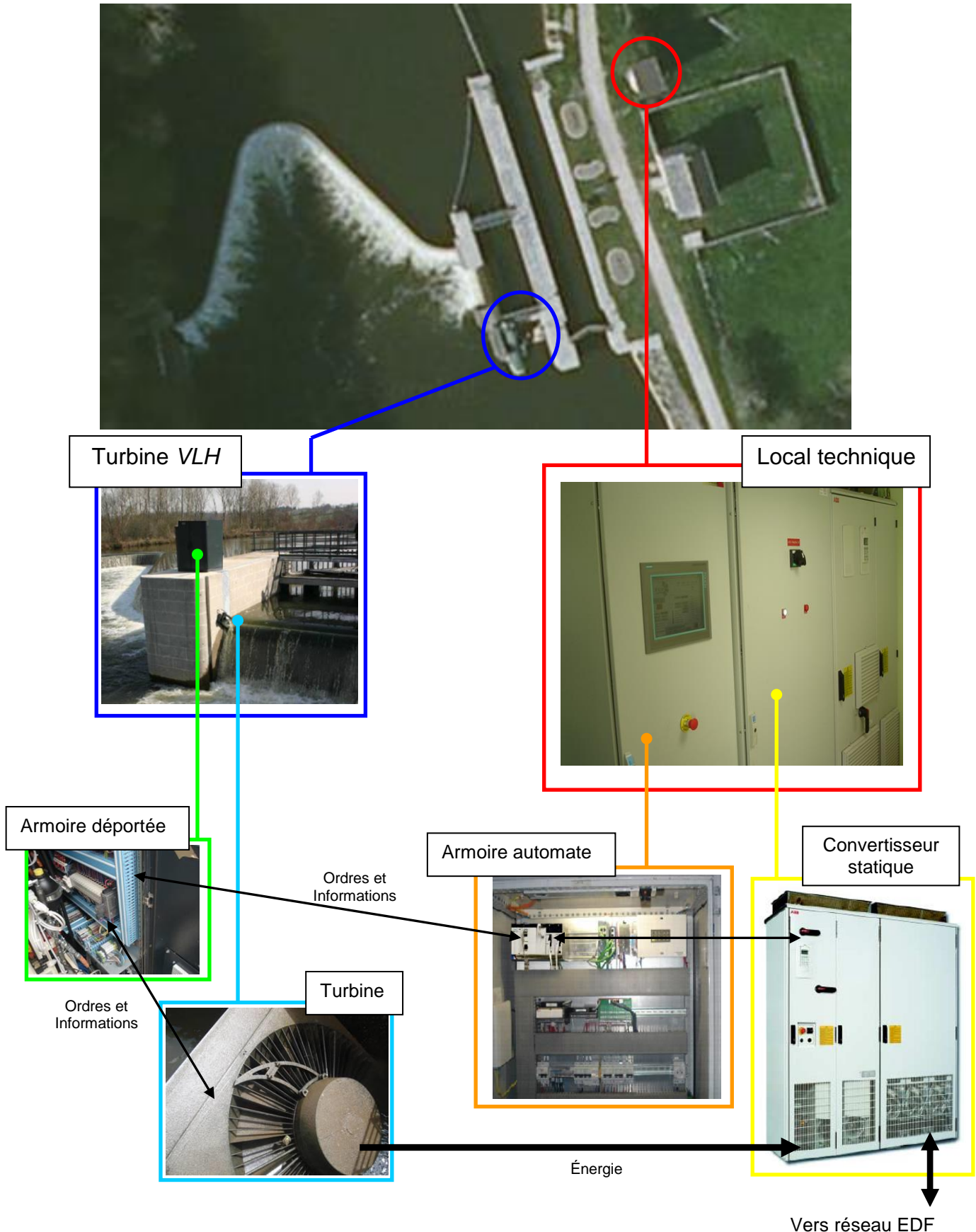
<sup>1</sup> Action pour un poisson migrateur de descendre un cours d'eau pour retourner dans un lieu nécessaire à son développement (lieu de reproduction ou de développement).



# 1.4 PRÉSENTATION DE L'INSTALLATION DE PRODUCTION

## 1.4.1 IMPLANTATION GÉNÉRALE SUR LE SITE

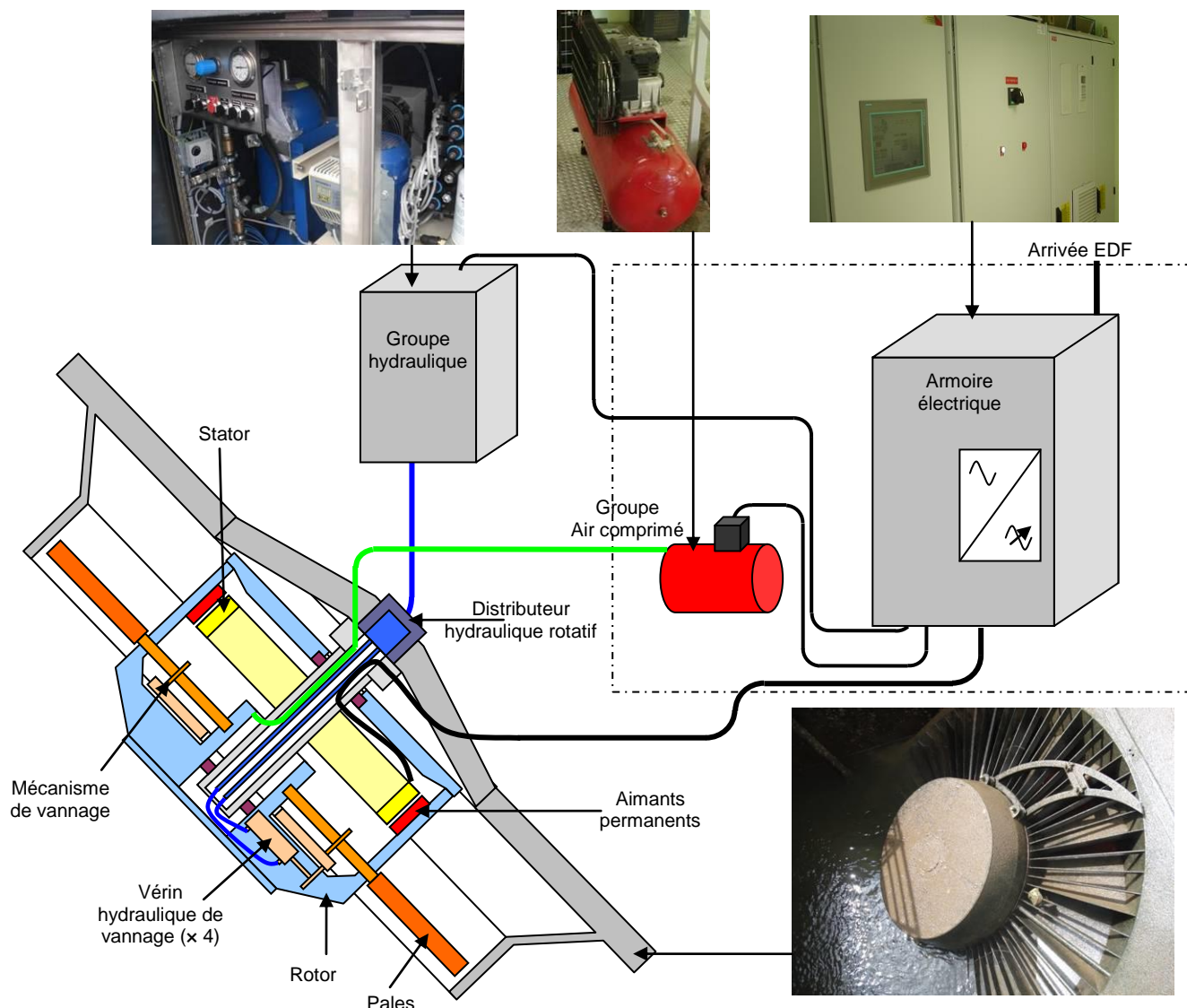
La turbine est gérée par un automate situé dans un local technique distant d'environ 60 mètres (variable suivant les sites). Une armoire est placée au plus près de la turbine pour minimiser le câblage entre le local technique et la turbine.



## 1.4.2 SYNOPTIQUE SIMPLIFIÉ DE L'INSTALLATION

La mise en œuvre de la turbine VLH nécessite la présence de trois énergies :

- *énergie électrique*, pour réinjecter l'énergie sur le réseau et faire fonctionner les auxiliaires de commande ;
- *énergie hydraulique*, pour alimenter les vérins de vannage, les vérins de levage de la structure et le vérin de dégrillage (dispositif permettant de filtrer les gros objets : branches,...) ;
- *énergie pneumatique*, pour mettre en légère surpression l'intérieur du groupe générateur afin d'éviter d'éventuelles entrées d'eau.



## 1.4.3 DESCRIPTION DE LA TURBINE

La turbine VLH se compose d'un cadre métallique (dimensionné en fonction du site) supportant le groupe générateur. Une vue en coupe est fournie dans le document technique DT1.



Cadre support



Groupe générateur



Ces deux éléments sont assemblés sur site et mis en place au moyen d'un appareil de levage.

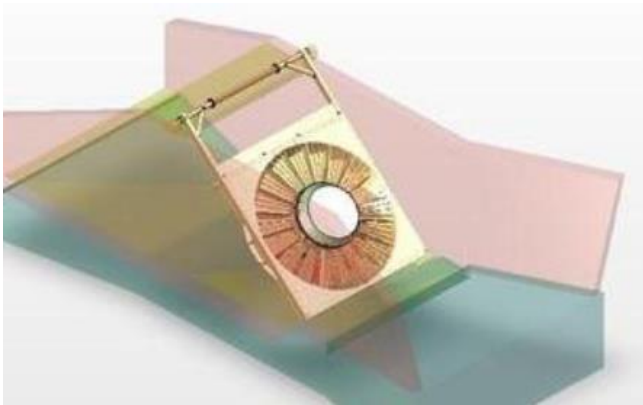


Assemblage

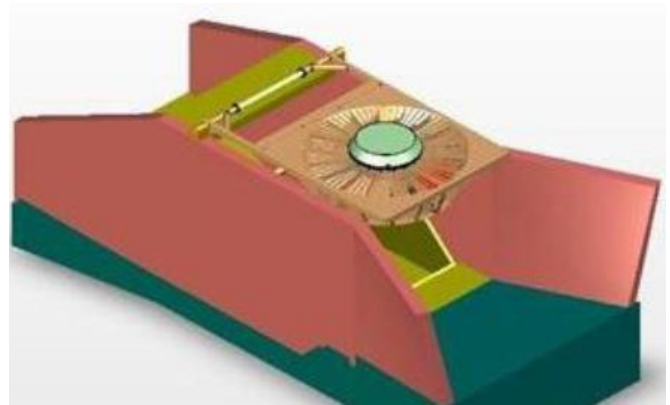


Mise en place

La turbine est en liaison pivot avec le bâti. Cela permet d'obtenir une position de travail et une position de maintenance.



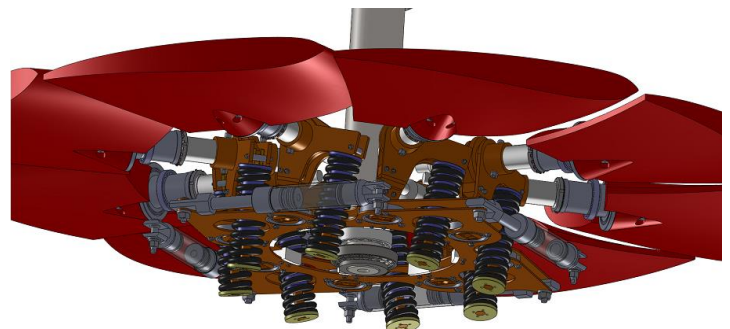
Position de travail



Position de maintenance

#### 1.4.4 DESCRIPTION DU GROUPE GÉNÉRATEUR

Le groupe générateur se compose d'un ensemble de 8 pales orientables liées mécaniquement au rotor. L'orientation des pales est obtenue par un mécanisme breveté et permet de réguler la puissance par action sur le débit d'amenée de l'eau.



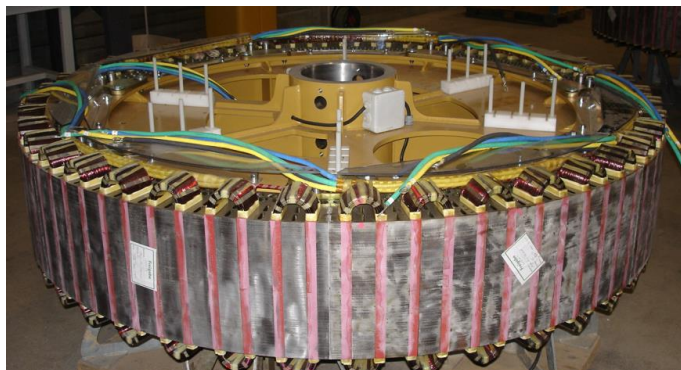
Vue du mécanisme d'orientation des pales

Le générateur électrique est une machine synchrone triphasée (alternateur) dont le rotor (partie extérieure) est constitué d'aimants permanents collés sur sa périphérie interne.



Aimants fixés en périphérie du rotor

Le stator est constitué d'un assemblage de 8 secteurs fixés en périphérie de la couronne.



Stator du générateur

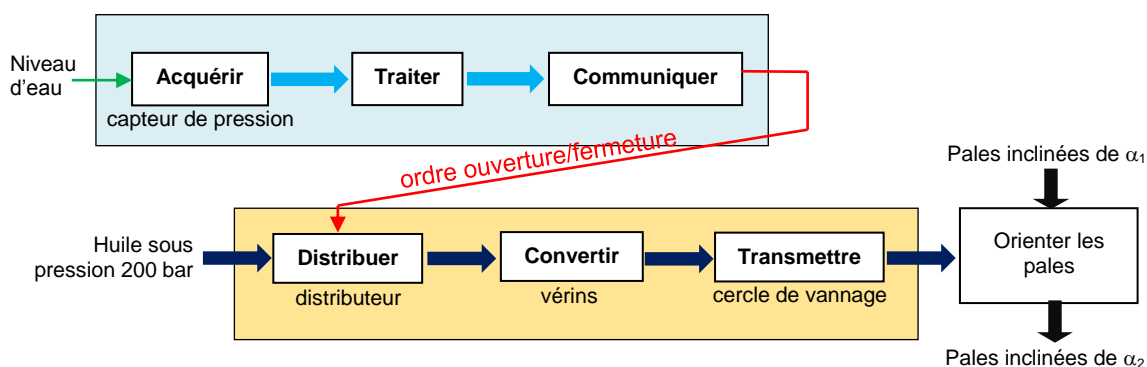
### 1.4.5 INTERFAÇAGE DU GROUPE GÉNÉRATEUR AVEC LE RÉSEAU

Le raccordement du groupe générateur au réseau électrique se fait à travers une structure à électronique de puissance (document technique DT2). Cette structure permet d'adapter la fréquence et les tensions pour un transfert optimal de la puissance.

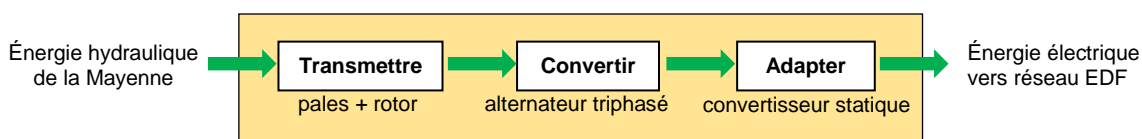
### 1.4.6 CHAÎNES FONCTIONNELLES SIMPLIFIÉES

La turbine VLH est constituée de 2 chaînes d'énergie :

- une première, qui permet de commander l'orientation des pales en fonction du niveau d'eau qui se situe en amont ;



- une seconde, qui permet de convertir l'énergie hydraulique de la rivière en énergie électrique.



## 1.5 OBJECTIF DE L'ÉTUDE

Le renouvellement des concessions est soumis à des exigences en terme d'efficacité énergétique mais aussi de respect de l'environnement.

Les différentes parties proposées doivent permettre d'évaluer le gain énergétique de ces nouvelles centrales et de valider les solutions retenues pour répondre à la problématique environnementale :

*Comment maintenir un débit minimal sur une rivière équipée d'un parc de turbines totalement immergées ?*

## PERSPECTIVES DE DÉVELOPPEMENT DE L'HYDROÉLECTRICITÉ

L'objet de cette partie est de faire une analyse du parc de production électrique français et de la part de l'hydroélectricité dans celui-ci, afin de bien fixer les ordres de grandeurs et les unités, données nécessaires, pour appréhender le projet d'implantation de turbines VLH sur la Mayenne.

### ÉTUDE DE L'HYDROÉLECTRICITÉ DANS LA PRODUCTION ÉNERGÉTIQUE

**Question 1 :** à partir des données du document ressource DRS1, déterminer le pourcentage de la part de l'hydroélectricité dans la production d'énergie électrique totale.

**Question 2 :** donner le taux d'utilisation du parc hydraulique et le comparer à celui du parc nucléaire.

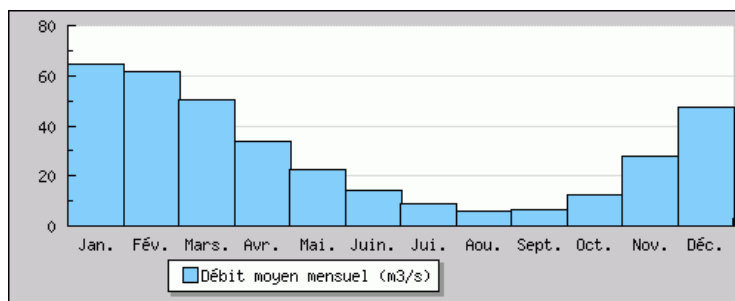
**Question 3 :** à partir des éléments du document ressource DRS1, donner le mode de production correspondant au système VLH. Compléter le document réponse DR1 en indiquant les modes de production mobilisés au cours d'une journée d'hiver. Préciser le rôle que joue l'hydroélectricité dans la production d'énergie électrique.

### ÉTUDE DE LA PRODUCTION ÉNERGÉTIQUE DU PROJET GLOBAL

Les données hydrométriques de la Mayenne dans le secteur d'implantation des VLH sont rapportées ci-dessous :

écoulements mensuels (naturels) – données calculées sur 41 ans

	janv.	févr.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.	Débit annuel moyen
débit (m <sup>3</sup> /s)	64,30	61,60	50,30	33,80	22,80	14,10	9,060	6,040	6,380	12,50	27,60	47,50	29,50



La réalisation du projet est soumise à une contrainte de rentabilité. On se propose de réaliser une estimation de la production des 16 sites Mayennais. Pour simplifier le calcul, on considèrera que chacun des sites sera équipé d'une VLH 3550 (diamètre 3550 mm, voir document technique DT2) et que la hauteur de chute nette est identique pour chacun des 16 sites et égale à 2 m.

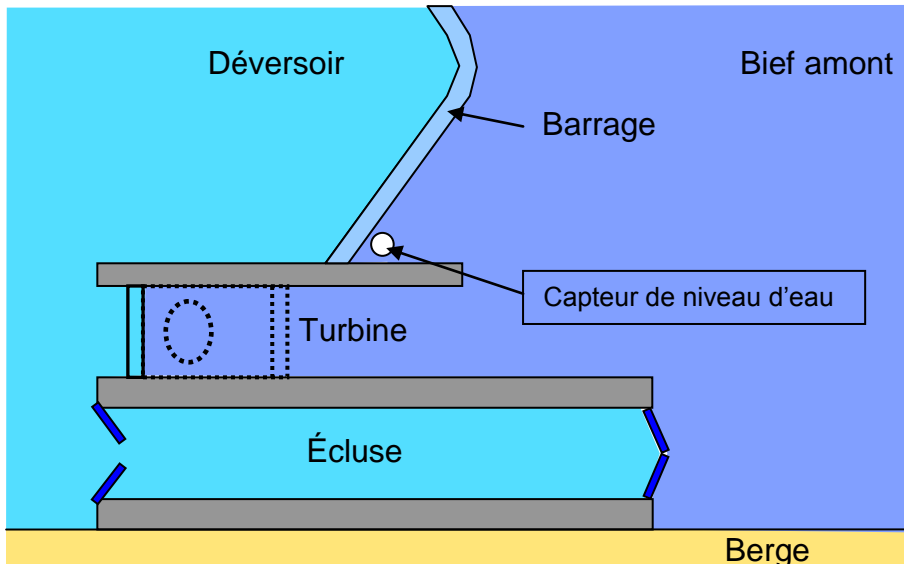
**Question 4 :** d'après les données constructeur du document technique DT2, donner une estimation du rendement des turbines associées à l'électronique de puissance nécessaire à la réinjection sur le réseau. Le comparer à celui des anciens groupes siphon qui était de l'ordre de 60 %.

**Question 5 :** en tenant seulement compte des cinq mois durant lesquels le débit moyen est le plus élevé (de novembre à mars), donner une estimation de la production d'énergie électrique sur une année pour l'ensemble des 16 sites et comparer le résultat obtenu aux objectifs fixés par le Grenelle de l'environnement (voir présentation de l'étude).



## ÉTUDE DU SYSTÈME DE PRODUCTION

L'implantation des turbines VLH en lieu et place des anciens groupes siphons permet un fonctionnement toute l'année en adaptant le débit de production (ouverture des pales) à celui de la rivière. La loi sur la pêche impose un débit réservé minimal pour la rivière de 10 % du débit annuel moyen, qui se traduit par une hauteur minimale de lame d'eau (voir figure 1) au niveau du barrage de 10 cm. L'ouverture des pales est asservie à la hauteur de la lame d'eau de façon à maintenir cette dernière à une hauteur supérieure à 10 cm. L'objet de cette étude est de faire une analyse des divers éléments entrant dans cette chaîne de régulation.



### ACQUISITION DE LA HAUTEUR DE LA LAME D'EAU

La détermination de la hauteur de la lame d'eau est effectuée au moyen d'un capteur de niveau hydrostatique (document technique DT3). Le capteur est placé dans un tube débouchant, assurant sa protection mécanique et minimisant les effets de « vague », à une profondeur  $H_p$  d'environ 1 m par rapport au sommet du barrage :

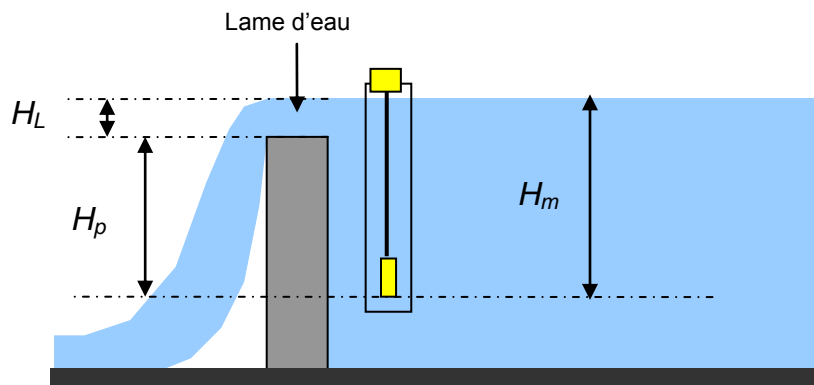


figure 1

Le but de l'étude qui suit est de définir la précision obtenue sur la hauteur de la lame d'eau.

### ÉTUDE DU CAPTEUR DE PRESSION

**Question 6 :** d'après les caractéristiques du capteur de pression (document technique DT3), déterminer la résolution (précision) du capteur en mm de hauteur d'eau. On rappelle qu'une pression de 1 bar correspond à une hauteur d'eau de 10,2 m et que le capteur est linéaire sur toute sa plage de mesure.

**Question 7 :** tracer la caractéristique  $I_{(mA)} = f(H_{m(m)})$ , où  $H_m$  représente la hauteur d'eau mesurée, sur le document réponse DR1. Donner l'équation de cette caractéristique.

Déterminer l'équation donnant la hauteur de la lame d'eau  $H_L$  en fonction du courant  $I_{(mA)}$  délivré par le capteur et de la constante d'implantation  $H_p$ .

## ÉTUDE DE LA CARTE D'ACQUISITION ANALOGIQUE

L'information de niveau d'eau délivrée par le capteur de pression est injectée sur les entrées analogiques d'une carte distante STB ACI 1225 (document technique DT6).

**Question 8 :** compléter le document réponse DR1 en précisant le raccordement du capteur de pression à la carte d'entrées analogiques. Quelle est la résolution de la carte en  $\mu\text{A}$  ? Donner le contenu du registre d'entrée  $C_n$  (valeur du mot) pour un courant de 6 mA et donner sa représentation binaire sur le document réponse DR1. Déterminer la relation existant entre  $I_{(mA)}$  et le contenu du registre d'entrée (mot)  $C_n$ .

## ÉTUDE DE LA CHAÎNE D'ACQUISITION DE LA HAUTEUR DE LA LAME D'EAU

**Question 9 :** déduire des réponses apportées aux questions 7 et 8 la relation liant la hauteur de la lame d'eau  $H_L$ , le contenu du registre  $C_n$  et la constante d'implantation  $H_p$ . Déterminer la précision obtenue sur cette hauteur en considérant que la constante  $H_p$  soit exacte.

## ÉTUDE DU MÉCANISME DE VANNAGE

L'objectif de cette étude est de comprendre le fonctionnement du mécanisme de vannage et comment est assurée la protection mécanique du système.

**Modélisation des liaisons :** le système de protection du mécanisme n'est pas étudié pour l'instant

Afin de comprendre le fonctionnement du vannage, on ne s'intéresse qu'à une seule pale.

Fonctionnement : (voir document DT4 et schéma cinématique ci-dessous)

La tige **3** du vérin de vannage **4-3** permet de déplacer le cercle de vannage **1**. La rotation de **1** par rapport au bâti **0** provoque la rotation de la pale **2**.

La solution retenue pour orienter la pale implique une translation du cercle de vannage **1** en complément de sa rotation.

**Question 10 :** proposer en la nommant et en la schématisant, en vous référant au schéma cinématique simplifié représenté ci-dessous, une liaison mécanique entre **1** et **0** permettant d'assurer l'ensemble des fonctionnalités décrites ci-dessus.

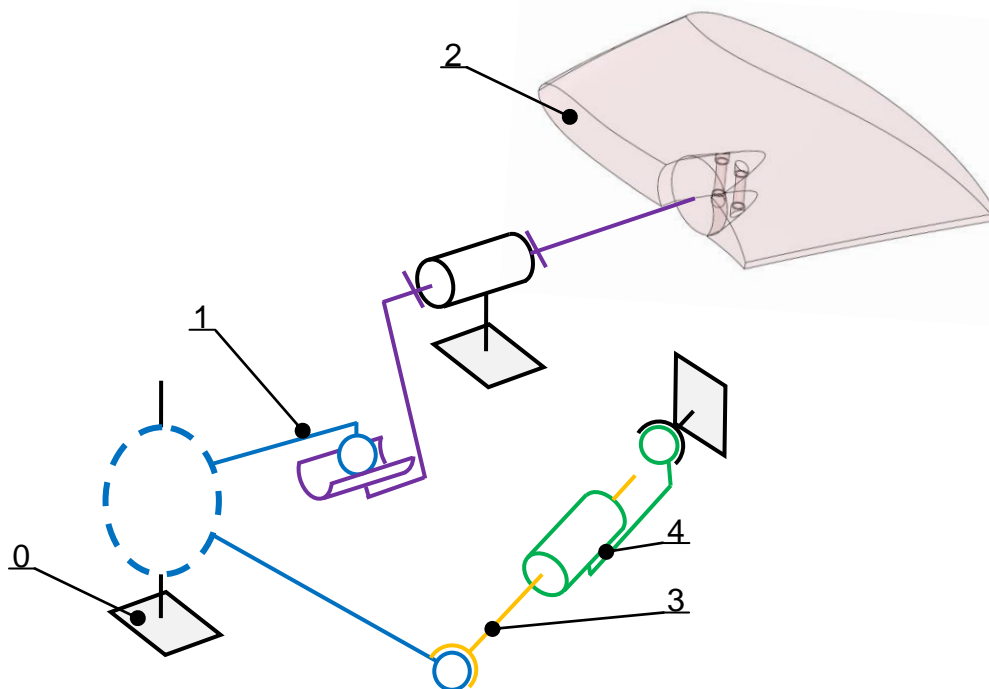
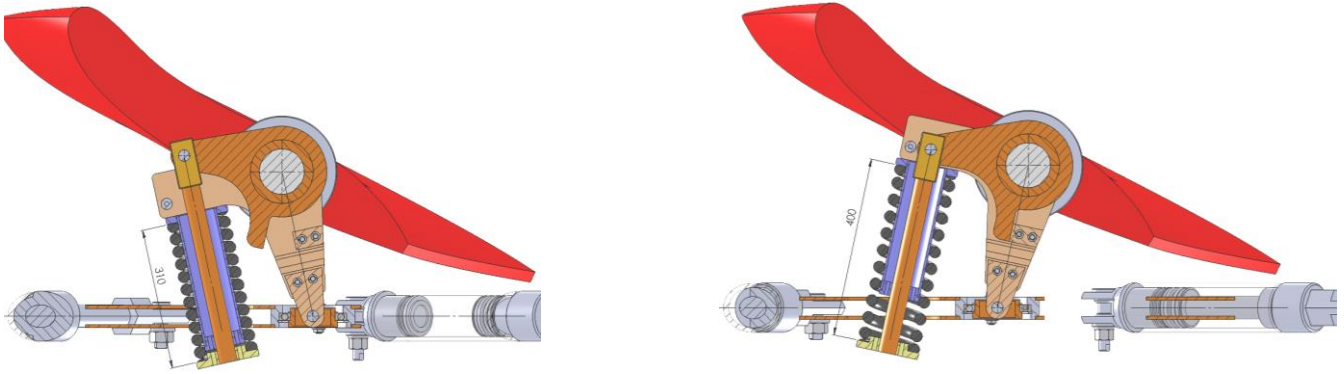


Schéma cinématique simplifié

**Question 11 :** à l'aide du dessin technique fourni sur le document réponse DR2, déterminer graphiquement la course du vérin pour une inclinaison maximale de  $24^\circ$ .

## Étude de la protection des pales et du mécanisme de vannage

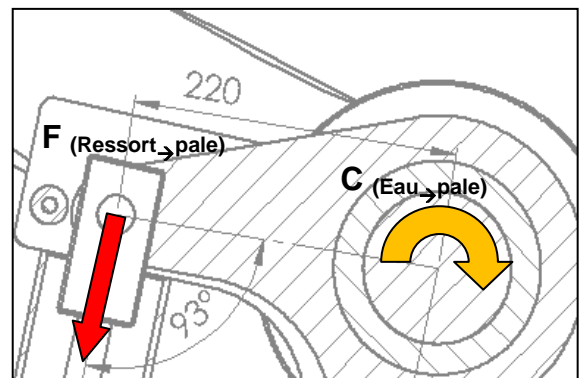


Bien que la turbine possède un dégrilleur, il peut arriver qu'une branche vienne se placer entre 2 pales. Le fabricant a fait le choix de laisser les vérins continuer leur course en permettant à la pale de se désaccoupler de l'arbre grâce à une liaison précontrainte par un ressort.

### Caractéristiques du ressort

- raideur : 180 N/mm ;
- longueur libre : 550 mm ;
- longueur tarée : 400 mm ;
- longueur pour un écrasement maximal : 310 mm.

La précontrainte du ressort doit permettre d'éviter aux pales de tourner sous la simple action de l'eau.



La pale est légèrement excentrée par rapport à son axe de rotation afin que l'action de l'eau tende naturellement à refermer la VLH. Néanmoins il existe une position, proche de la fermeture, pour laquelle l'eau tend à rouvrir la pale. C'est cette position qui pose problème. Des calculs ont permis d'évaluer à 5400 N·m le couple qu'exerce l'eau sur la pale dans cette position.

**Question 12 :** déterminer la valeur de l'effort de précontrainte (effort fourni par le ressort après montage).

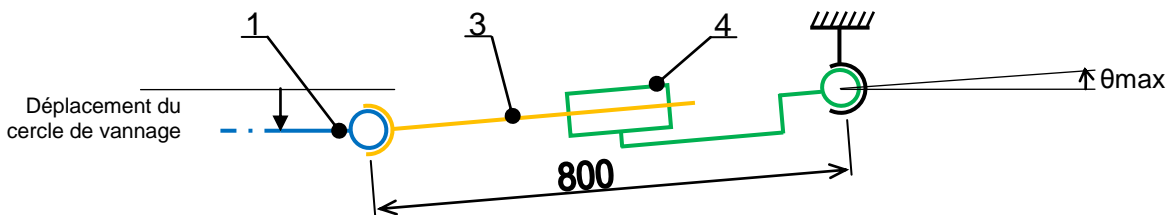
**Question 13 :** vérifier que cet effort de précontrainte est suffisant pour s'opposer au couple exercé par l'eau sur la pale.

**Question 14 :** calculer la valeur maximale de l'effort développé par le ressort.

On cherche maintenant à évaluer l'effort supplémentaire que devra fournir chacun des 4 vérins de vannage lorsqu'une seule pale sera coincée.

Le problème est spatial, mais on se propose de vérifier que l'étude peut être menée dans 2 plans.

Pour cela il faut faire l'hypothèse que les vérins de vannage évoluent dans un plan horizontal, autrement dit que le rotulage de chaque vérin soit faible, inférieur à 5°.



**Rotation du vérin due à la descente du cercle de vannage 1**



La rotation de la pale provoque une descente selon l'axe vertical  $\vec{z}$  du cercle de vannage sur les 12 premiers degrés

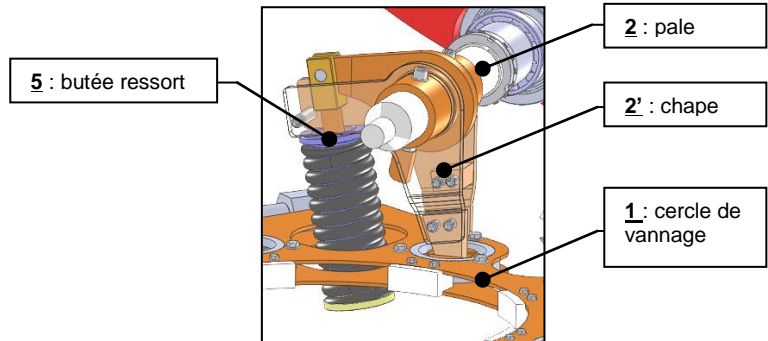
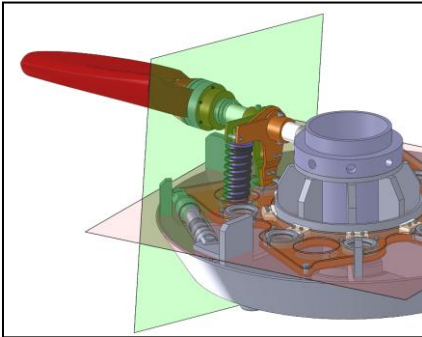
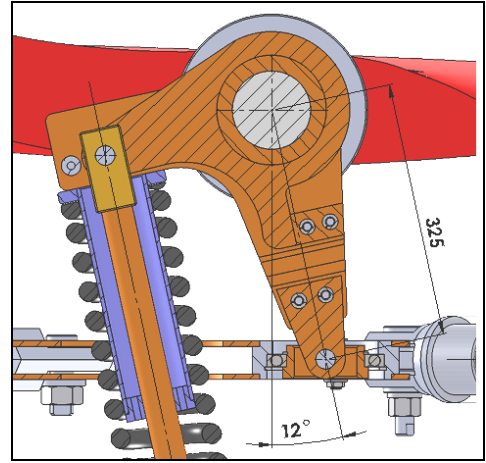
**Question 15:** calculer le déplacement en translation du cercle de vannage lorsque la pale a pivoté de  $12^\circ$ .

Ce déplacement correspond à la position pour laquelle les vérins auront le plus rotulé. À cette position, la distance entre chaque rotule du vérin est de 800 mm.

**Question 16 :** à partir du schéma cinématique de la page 11 et du résultat de la question 15, déterminer l'angle d'inclinaison maximal des vérins.

Conclure sur la possibilité de réaliser deux études planes pour déterminer les efforts dans les vérins.

On admettra pour la suite que l'on peut réaliser deux études statiques dans les plans indiqués sur le schéma ci-dessous (voir document technique DT5).



On isole la chape.

Le contact entre la butée ressort et la chape est modélisé par une liaison linéaire rectiligne (cylindre/plan). La chape est en liaison pivot avec l'axe de la pale et en liaison sphère-cylindre avec le cercle de vannage. L'étude se fait dans le plan  $(\vec{z}, \vec{x})$ .

Le poids des pièces est négligeable devant les autres actions mécaniques mises en jeu.

**Inventaire des actions mécaniques agissant sur la chape**

- action de la butée du ressort :

$$\mathcal{T}(\text{butée} \rightarrow \text{chape}) = \begin{Bmatrix} \vec{B}(5 \rightarrow 2') \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_B = \begin{Bmatrix} 44000\vec{z}_1 \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_B ;$$

$$\vec{z}_1 = \sin(-12,63)\vec{x} + \cos(-12,63)\vec{z}$$

- action de la pale :

$$\mathcal{T}(\text{pale} \rightarrow \text{chape}) = \begin{Bmatrix} \vec{O}(2 \rightarrow 2') \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_O ;$$

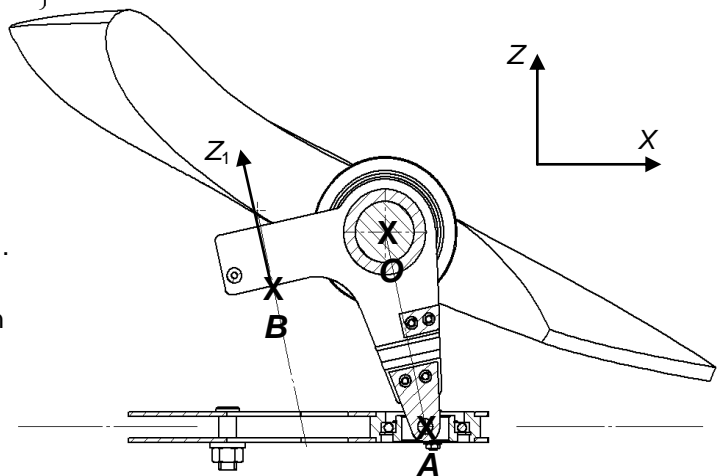
- action du cercle de vannage :

$$\mathcal{T}(CV \rightarrow \text{chape}) = \begin{Bmatrix} \vec{A}(1 \rightarrow 2') \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_A = \begin{Bmatrix} X_{1 \rightarrow 2} \vec{x} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_A .$$

L'angle  $(\vec{z}, \vec{z}_1)$  vaut  $-12,63^\circ$  dans la position pour laquelle le ressort est le plus comprimé

$$\vec{OB} = -189,7\vec{x} - 88,7\vec{z} \text{ en mm}$$

$$\vec{OA} = 71,12\vec{x} - 317,12\vec{z}$$



**Question 17 :** déterminer, à partir de l'équation du moment en O issue du principe fondamental de la dynamique, l'action  $\vec{A}(1 \rightarrow 2')$ .

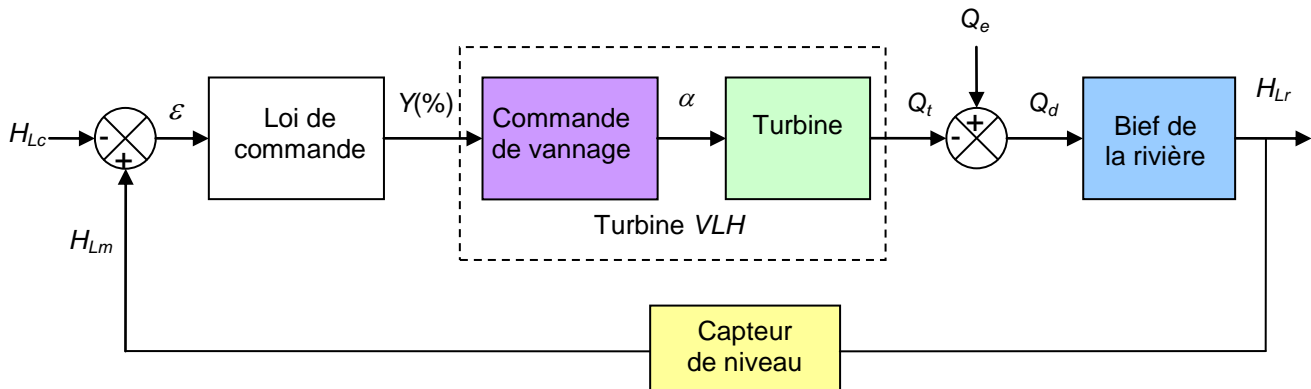
**Question 18 :** déterminer, à partir du document technique DT5, l'action que doit fournir un seul vérin pour entraîner le cercle de vannage. Pour cela, faire l'inventaire des actions mécaniques extérieures au cercle de vannage **1** et appliquer le théorème du moment au point *K*, en rappelant les hypothèses à faire pour l'étude de cet isolement. On rappelle que  $T(0 \rightarrow 1) = \begin{Bmatrix} \vec{K}(0 \rightarrow 1) \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_K$ .

En déduire  $F_v$ , l'action de chaque vérin, si on suppose que chacun d'eux transmet le même effort.

**Question 19 :** on suppose que  $F_v$  est égal à 5000 N. Sachant que les vérins ont un diamètre de piston de 90 mm de longueur, calculer la pression hydraulique supplémentaire nécessaire pour continuer à faire tourner le cercle de vannage malgré le blocage d'une pale.

### GESTION DE L'OUVERTURE DES PALES

La turbine VLH autorise un fonctionnement à puissance réduite lorsque le débit de la rivière est inférieur au débit nominal de la turbine. Dans cette situation l'angle d'ouverture des pales est asservi à la hauteur de la lame d'eau. Un algorithme de commande élabore la consigne d'ouverture des pales en fonction de la hauteur de la lame d'eau, comme illustré par la figure ci-dessous :



- $H_{Lc}$  : consigne de hauteur de lame d'eau ;
- $H_{Lm}$  : hauteur de lame d'eau mesurée ;
- $H_{Lr}$  : hauteur de lame d'eau réelle ;
- $\varepsilon$  : écart entre la consigne et la mesure ;
- $Y(\%)$  : consigne de vannage (0 %, complètement fermé ; 100 %, complètement ouvert) ;
- $\alpha$  : angle d'ouverture des pales (0°, complètement fermé ; 24°, complètement ouvert) ;
- $Q_t$  : débit turbiné par la VLH ;
- $Q_e$  : débit d'entrée en amont du bief ;
- $Q_d$  : débit de débordement.

Compte tenu de l'étude sur le capteur de niveau, on considère que  $H_{Lm} = H_{Lr} = H_L$ .

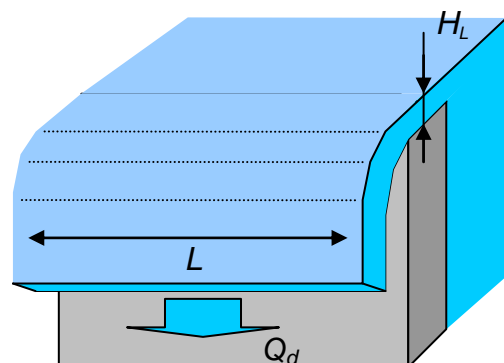
### MODÉLISATION DU BIEF DE LA RIVIÈRE

L'objectif de cette partie est de trouver un modèle mathématique, d'un point de vue statique, du comportement de la rivière vis-à-vis du débit turbiné  $Q_t$  par la VLH. La hauteur de la lame d'eau au droit du barrage est liée au débit de débordement  $Q_d$  et peut être approchée par la relation suivante :

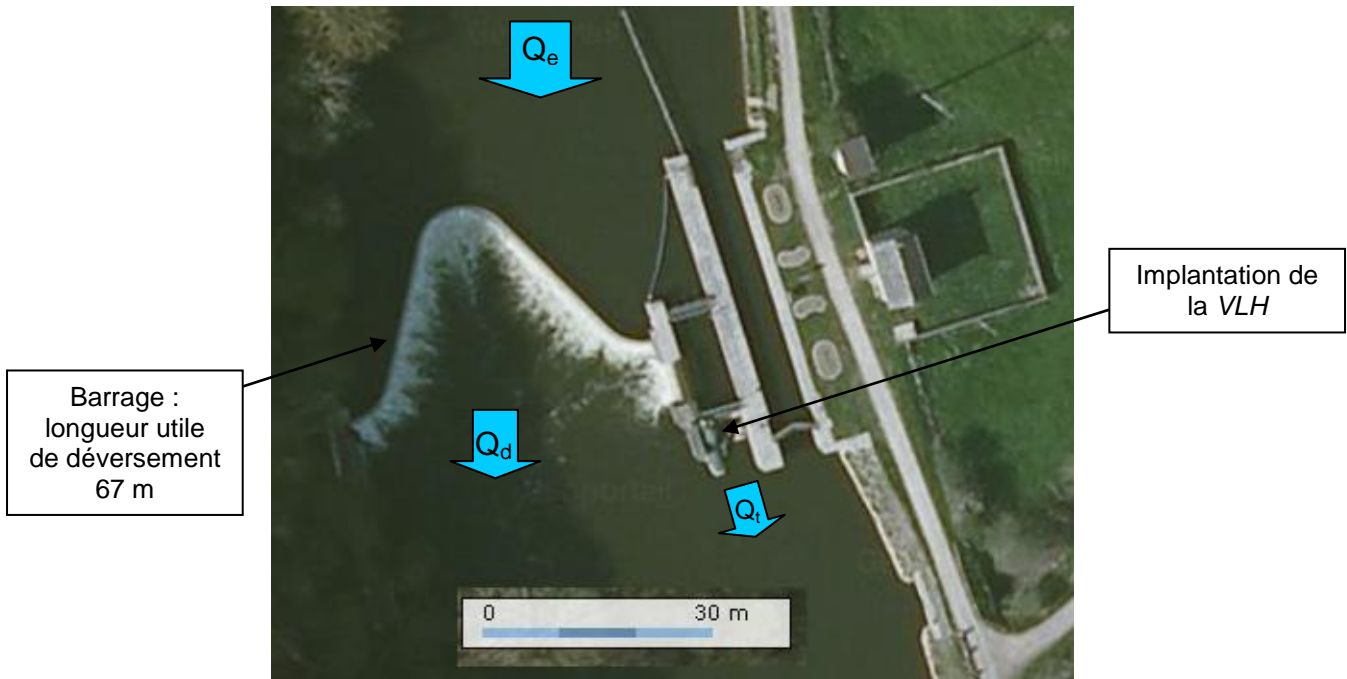
$$Q_d = \mu L \sqrt{2gH_L^3}$$

avec

- $Q_d$  : débit de débordement en  $m^3/s$  ;
- $\mu$  : constante estimée à 0,4 ;
- $L$  : longueur utile de débordement du barrage ;
- $g$  : constante d'accélération de la pesanteur  $9,81 m/s^2$  ;
- $H_L$  : hauteur de débordement en m.



On donne ci-dessous une vue aérienne d'un site d'implantation d'une des VLH.



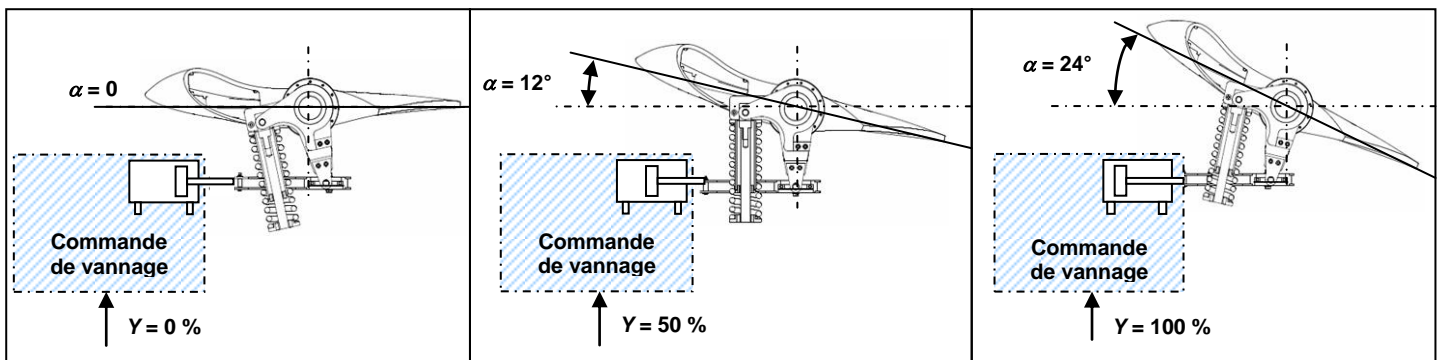
**Question 20 :** le cahier des charges impose un débit réservé  $Q_d$  supérieur à 10 % du débit annuel moyen. En vous référant aux données hydrométriques de la Mayenne (page 8), traduire cette exigence en terme de hauteur de lame d'eau  $H_L$ . L'automatisme de régulation de débit ayant une consigne de hauteur de lame d'eau de 10 cm, les exigences du cahier des charges seront-elles respectées en ce qui concerne le débit minimum de débordement ?

**Question 21 :** d'après la vue aérienne ci-dessus, donner la relation liant  $Q_e$ ,  $Q_d$  et  $Q_t$ . En vous référant aux données hydrométriques de la Mayenne (page 8), estimer les mois de l'année durant lesquels il sera nécessaire de réguler le débit de la turbine pour satisfaire aux exigences du débit réservé. On considèrera pour cela que les turbines installées sont du type VLH 3550 (document technique DT2) et que la hauteur de chute nette est de 2 m.

**Question 22 :** établir la relation liant la hauteur de la lame d'eau  $H_L$  à  $Q_e$  et  $Q_t$ . Pour un débit  $Q_e$  de  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ , la caractéristique  $H_L = f(Q_t)$  a l'allure donnée sur le document réponse DR3. Linéariser cette caractéristique autour de  $H_L = 10 \text{ cm}$ , en déduire un modèle mathématique possible pour caractériser le bief de la rivière du point de vue des variations de  $H_L$  en fonction des variations de  $Q_t$ .

**MODÉLISATION DE LA TURBINE**

La commande de vannage (partie de système non étudié) permet d'obtenir une ouverture des pales plus ou moins grande en fonction d'une consigne de vannage  $Y(\%)$  variant de 0 à 100 %. On considère que l'angle d'ouverture des pales  $\alpha$  suit une loi linéaire en fonction de  $Y(\%)$ . Une illustration est donnée ci-dessous pour trois valeurs différentes de  $Y(\%)$  :



**Question 23 :** tracer, sur le document réponse DR3, la caractéristique de la commande de vannage  $\alpha(^{\circ}) = f(Y(\%))$ . En considérant que le débit est proportionnel à l'angle  $\alpha$ , que la hauteur de chute nette est de 2 m et que la turbine installée est une VLH 3550, tracer la caractéristique  $Q_t(\text{m}^3/\text{s}) = f(Y(\%))$ .



## ÉTUDE DE LA LOI DE COMMANDE

La loi de commande est une loi dite à correction proportionnelle, c'est-à-dire sous la forme  $Y(\%) = K\varepsilon$  où  $K$  représente le gain de l'action proportionnelle. Le but de l'étude qui suit est de déterminer la valeur du gain afin d'obtenir une précision de 1 cm sur la hauteur de la lame d'eau.

**Question 24 :** tracer, sur le document réponse DR3, la caractéristique de la loi de commande  $Y(\%) = f(\varepsilon)$  où  $\varepsilon$  représente l'écart de hauteur de lame d'eau en mètre pour un gain  $K=2000$ . On rappelle que  $Y(\%)$  ne peut pas être inférieure à 0 (turbine complètement fermée) et ne peut pas être supérieure à 100 (turbine complètement ouverte).

Préciser la zone, que l'on nommera BP (Bande proportionnelle), où la commande est effectivement proportionnelle à l'écart.

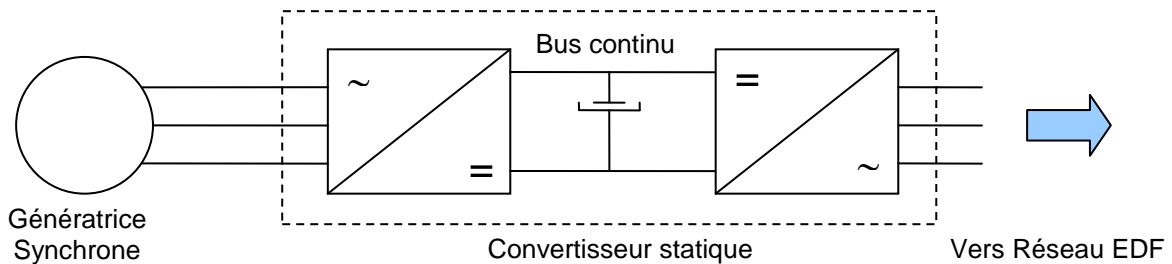
Sachant que  $\varepsilon = H_L - H_{Lc}$ , représenter, sur le document réponse DR3, la caractéristique de la loi de commande  $Y(\%) = f(H_L)$  pour  $H_{Lc} = 10$  cm.

**Question 25 :** pour un débit d'entrée  $Q_e$  de  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ , la relation liant  $H_L$  à  $Y(\%)$  peut être représentée par la droite donnée sur le document réponse DR4. En superposant à cette caractéristique celle de la loi de commande précédemment obtenue, déterminer la hauteur de la lame d'eau pour un gain  $K$  de 2000. Donner la valeur du gain qui permettrait d'avoir une précision de 1 cm sur la hauteur de la lame d'eau. Quelle influence a le gain  $K$  sur le débit réservé ?

## CONVERSION ET ADAPTATION DE L'ÉNERGIE

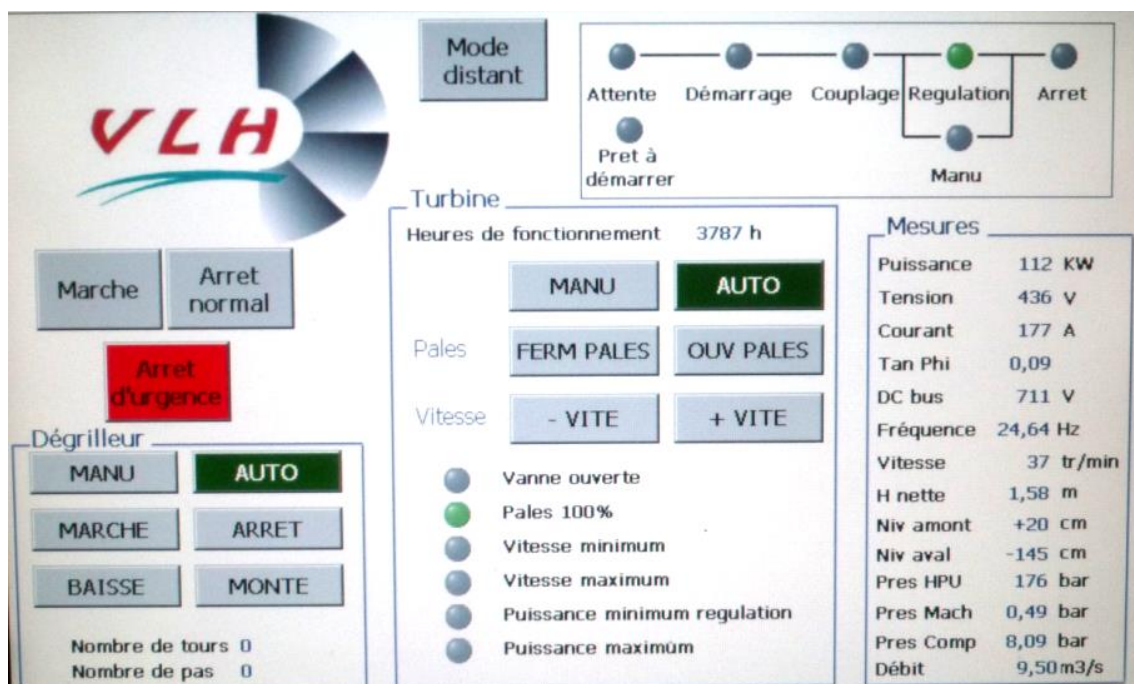
L'énergie mécanique est convertie en énergie électrique au moyen d'une machine synchrone triphasée (alternateur). L'énergie électrique en sortie de l'alternateur est adaptée pour être renvoyée sur le réseau.

La chaîne de conversion, document technique DT2, est schématisée ci-dessous :

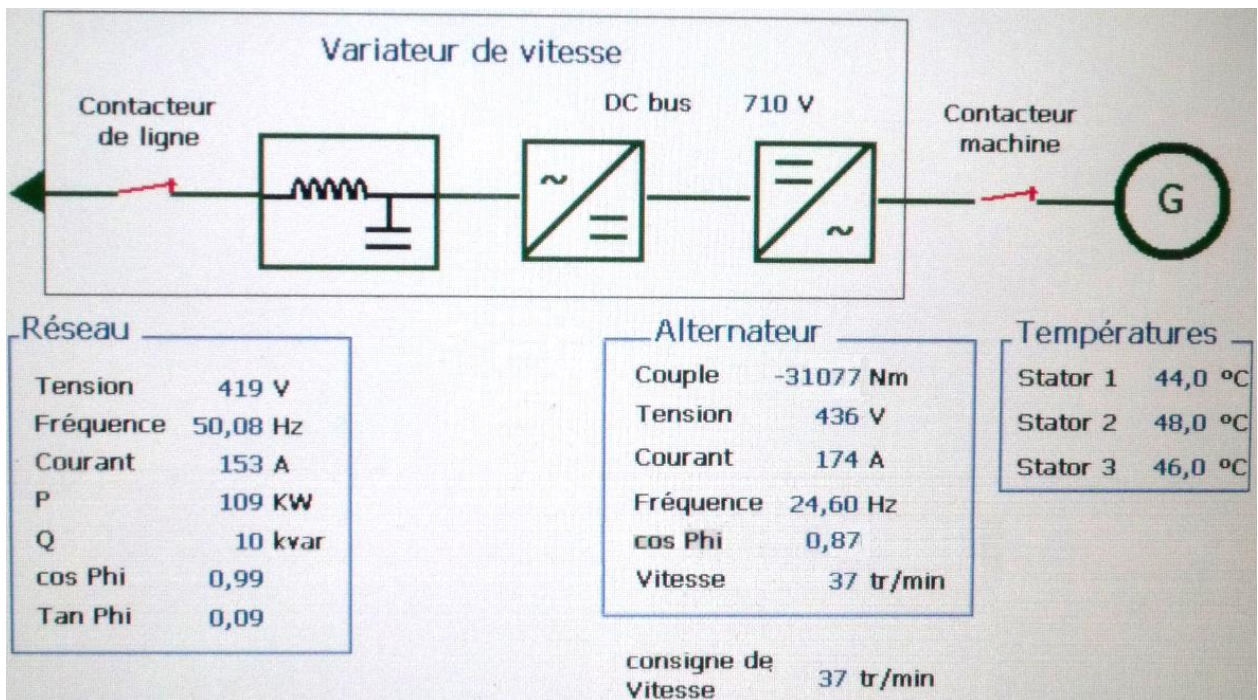


L'objectif de l'étude qui suit est de justifier la présence du convertisseur statique présent entre l'alternateur et le réseau et de déterminer le rendement de la chaîne de conversion.

Le pilotage de l'installation se fait au travers d'une interface homme-machine (IHM) dont l'écran principal est représenté ci-dessous :



Cette IHM permet également de rapatrier les données électriques issues du convertisseur statique (variateur de vitesse) dont une vue est donnée ci-dessous :



L'association de la génératrice synchrone au convertisseur statique est paramétrée de façon à obtenir une puissance maximale fonction de l'ouverture de pales et de la hauteur d'eau (dispositif de recherche de puissance maximale : MPPT). De ce fait, la vitesse de rotation de la turbine peut évoluer de  $\pm 15\%$  autour d'une vitesse de consigne de 34 tr/min.

Les conventions utilisées pour les informations données par l'IHM sont les suivantes :



**Question 26 :** les informations données par l'IHM étant issues du convertisseur statique, quelles sont les grandeurs mesurées et les grandeurs calculées parmi les grandeurs : couple, tension, courant, fréquence du courant, vitesse angulaire ?

**ANALYSE DES DONNÉES CÔTÉ ALTERNATEUR**

**Question 27 :** d'après les informations vitesse angulaire et fréquence du courant, déterminer le nombre de pôles de la machine synchrone.  
 Déterminer la puissance en entrée du convertisseur statique.  
 Quelle serait la fréquence du courant si la vitesse angulaire de la machine descendait à 32 tr/min ?

**ANALYSE DES DONNÉES CÔTÉ RÉSEAU**

**Question 28 :** retrouver la valeur de  $P$  fournie au réseau en fonction des informations  $U$ ,  $I$  et  $\cos\phi$ . La fréquence côté réseau peut-elle être différente de 50 Hz ?  
 Justifier la présence du convertisseur statique et déterminer son rendement.

## ÉTUDE DE L'ÉTANCHÉITÉ DE LA TURBINE

L'objectif est d'étudier la résistance du couvercle supérieur face aux efforts dus au choix fait par le concepteur pour interdire toute infiltration.

Afin d'éviter que l'eau ne pénètre dans le bâti de la VLH et pour compenser d'éventuelles fuites, le constructeur a choisi de mettre l'enceinte de la turbine sous pression.

Cependant, mettre l'enceinte sous pression engendre quelques conséquences :

- déformation du couvercle supérieur ;
- déplacement des éléments d'étanchéité dû à cette déformation ;
- maintien du couvercle sur le cylindre du bulbe face à l'effort résultant de cette pression.

**Question 29** : sachant que la pression relative sous l'eau est donnée par la relation  $P = \rho gh$ , justifier le fait qu'une pression relative de 0,5 bar est suffisante.

### Déformation du couvercle supérieur

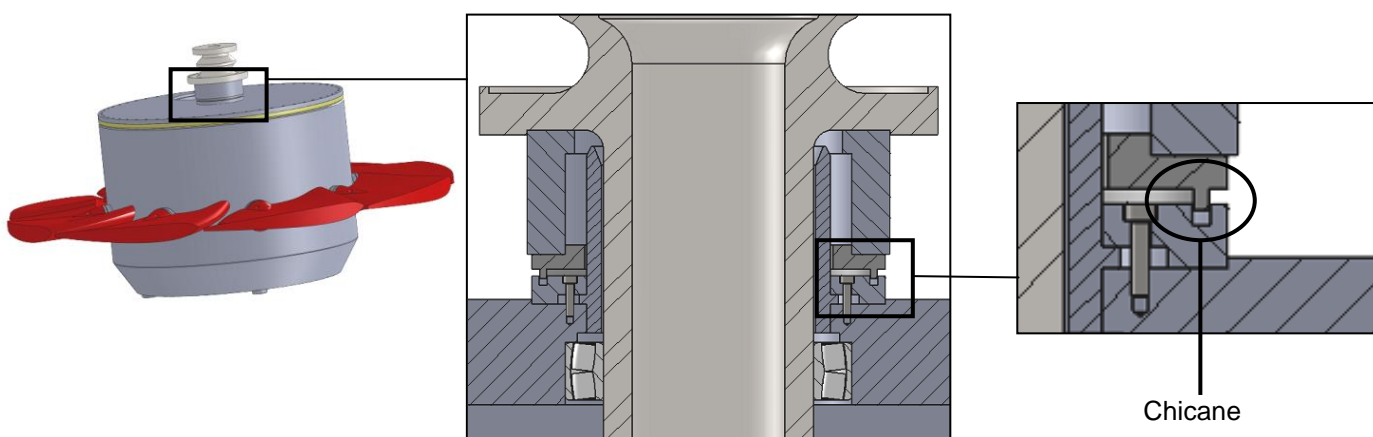
Les simulations fournies dans le document ressource DRS2 montrent le comportement du couvercle sous une pression de 1 bar.

**Question 30** : analyser les résultats et justifier le rôle des nervures. Déterminer, dans les 2 cas, le coefficient de sécurité au regard de la contrainte de Von Mises<sup>2</sup> pour une pression de 0,5 bar puis pour 1 bar. On souhaite un coefficient de sécurité de 3 pour 1 bar maximum. Quelle solution faut-il choisir ?

### Déplacement des éléments d'étanchéité

Afin d'améliorer l'étanchéité, un système de chicanes a été conçu. Son rôle est de « casser » la dynamique du fluide et d'éviter que des impuretés de trop gros diamètre viennent au contact des joints qui assurent l'étanchéité dynamique.

**Question 31** : quelle condition fonctionnelle faut-il respecter pour qu'il n'y ait pas de détérioration des chicanes lors du fonctionnement ?



Remarque : les joints d'étanchéité ne sont pas représentés.

<sup>2</sup> Contrainte représentant en chaque point l'effet de l'ensemble des contraintes qui s'y exercent.



Maintien du couvercle sur le cylindre du bulbe

**Question 32 :** sachant que le diamètre intérieur de la VLH est de 1910 mm et que le diamètre de la poutre centrale est de 220 mm, déterminer l'effort dû à la pression lorsqu'elle agit sur le couvercle. Effectuer l'application numérique pour une pression de 1 bar.

On souhaite fixer le couvercle à l'aide de vis de 12 mm de diamètre.

**Caractéristiques des vis**

- pas :  $pas = 1,75 \text{ mm}$
- section équivalente :  $As = 84,3 \text{ mm}^2$
- résistance à la traction :  $Rm = 600 \text{ MPa}$
- limite d'élasticité :  $Re = 480 \text{ MPa}$

Compte-tenu des dimensions du couvercle, on le considère comme infiniment rigide par rapport aux vis d'assemblage.

L'assemblage vissé doit permettre d'éviter le décollement du couvercle sous l'effet de la pression. Si on néglige la déformation du couvercle lors du serrage, il faut au minimum que l'ensemble des vis supportent la précharge du montage à laquelle il faut ajouter l'effort de pression.

**Question 33 :** montrer que si l'ensemble est monté avec  $n$  vis, chaque vis reçoit au minimum, pour 1 bar :

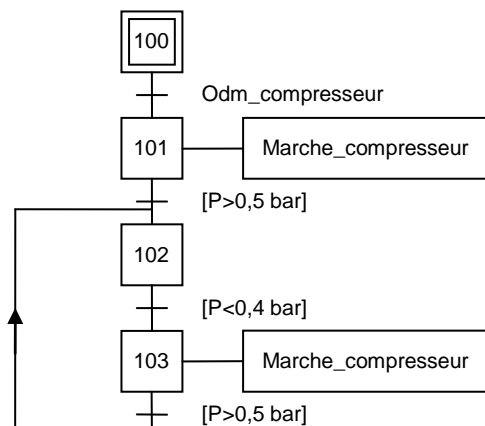
$$F_0 = 2 \cdot \frac{2,83 \cdot 10^5}{n} \text{ exprimé en newton.}$$

La charge maximale que peut supporter une vis est égale à :  $F_{max} = 0,9 R_e A_s$ .

**Question 34 :** calculer le nombre minimal de vis à implanter. Le constructeur ayant implanté 56 vis, quel coefficient de sécurité a-t-il choisi ?

L'étanchéité de la turbine est contrôlée par l'automate afin de détecter les fuites anormales. Le principe retenu consiste à contrôler le temps de fonctionnement du groupe d'air comprimé.

La commande du compresseur est la suivante : la turbine étant en position de maintenance (position horizontale), la mise en position de travail est conditionnée par la présence d'une pression relative supérieure à 0,5 bar. Pour cela, un ordre de marche du compresseur est donné (Odm\_compresseur), ce qui a pour effet la mise en marche du compresseur (Marche\_compresseur). Lorsque la pression atteint 0,5 bar, le groupe s'arrête jusqu'à ce que la pression retombe à 0,4 bar puis le cycle recommence. Le fonctionnement est décrit par le GRAFCET suivant :



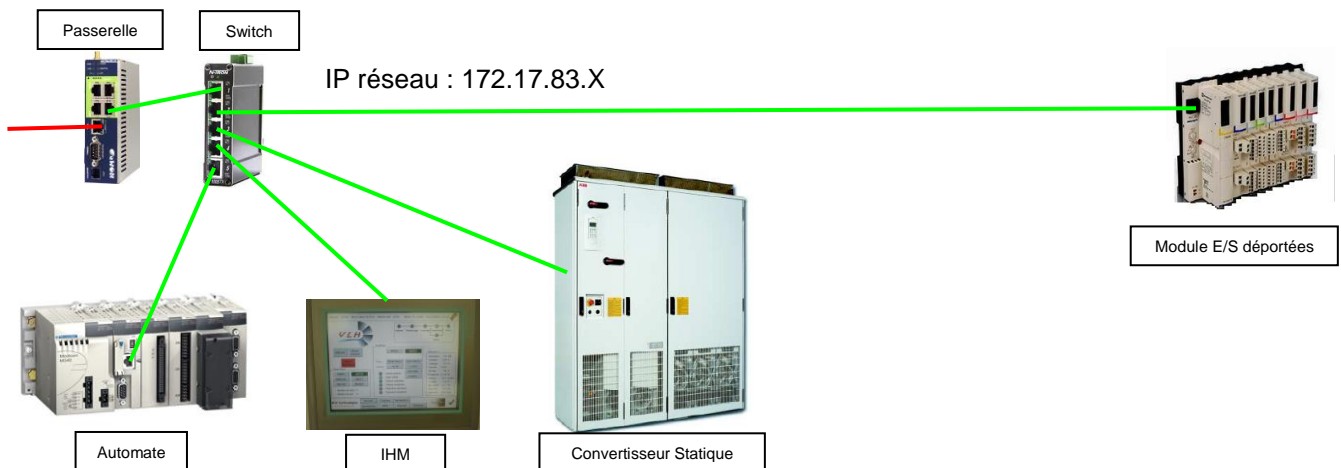
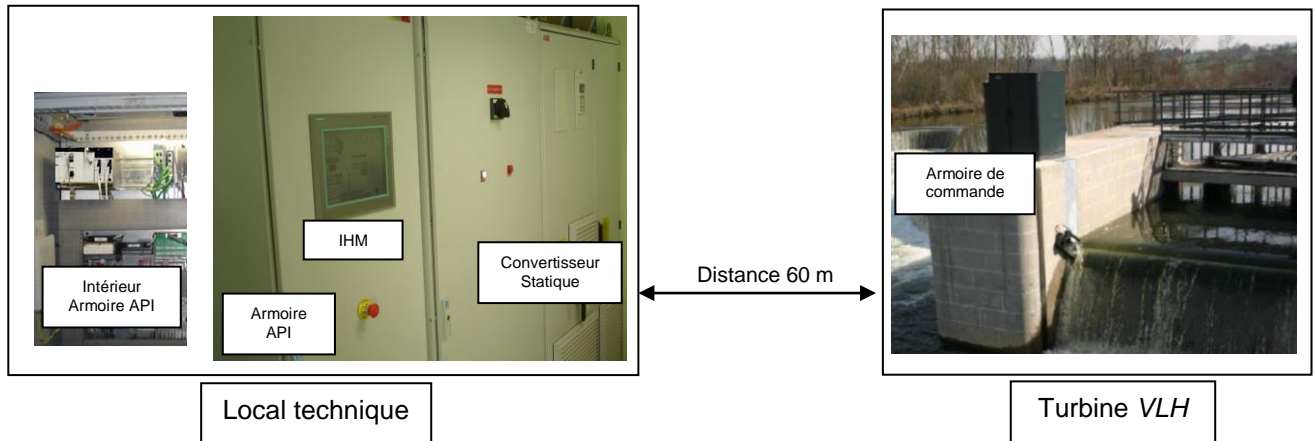
**Question 35 :** compléter le GRAFCET de surveillance de l'étanchéité de la turbine (document réponse DR4) en prenant en considération le fonctionnement souhaité suivant :

- un temps de mise en pression supérieur à  $T_{lim\_1}$  occasionne un défaut de mise en pression :  $DEF\_MP$  ;
- un temps de fonctionnement du groupe supérieur à  $T_{lim\_2}$  occasionne un défaut fuite :  $DEF\_FT$  ;
- les défauts sont acquittés via l'interface homme/machine (IHM) :  $ACQ\_DEF\_MP$  et  $ACQ\_DEF\_FT$ .

Le temps d'activité d'une étape «  $i$  » de GRAFCET est donné par la variable  $\%Xi, T$ .

## ÉTUDE DE LA COMMUNICATION

L'armoire de gestion de la turbine VLH est située, suivant les sites, dans un local technique distant de la turbine d'une soixantaine de mètres. Les ordres et informations liés au fonctionnement de la turbine sont donnés ou recueillis au plus près de la turbine au moyen de modules d'entrées/sorties déportées, afin de minimiser le câblage entre le local technique et la turbine.



L'objectif de l'étude qui suit est d'analyser le principe de fonctionnement du protocole de communication utilisé entre l'automate et le module d'entrées/sorties déportées.

### COMMUNICATION ENTRE L'AUTOMATE ET LE MODULE E/S DEPORTÉES

La communication entre l'API<sup>3</sup> et le module E/S déportées est réalisée par un réseau Ethernet, en utilisant un protocole Modbus TCP/IP. Le format d'une trame Ethernet est rappelé sur le document ressource DRS3, le protocole Modbus TCP/IP est rappelé sur le document ressource DRS4.

Au moyen d'un logiciel de capture de trame, on a relevé deux trames (document réponse DR4) entre l'automate et la carte analogique (capteur de niveau d'eau) du module d'entrées/sorties déportées. La première trame correspond à une demande de l'automate au module d'entrée/sortie déportées, la deuxième trame correspond à la réponse à cette demande.

**Question 36 :** repérer, en les encadrant sur le document réponse DR4, les entêtes Ethernet, IP, TCP et Modbus de la trame Modbus TCP/IP. Déduire du repérage effectué, l'adresse MAC de la carte réseau de l'automate, l'adresse MAC du module d'entrées/sorties déportées, l'adresse IP (en numérotation décimale pointée) de l'automate et l'adresse IP du module d'entrées/sorties déportées.

**Question 37 :** décoder la partie Modbus des trames en précisant ce que demande l'automate et la réponse qu'il reçoit à cette demande.

**Question 38 :** proposer une architecture permettant de superviser l'ensemble des 16 sites.

<sup>3</sup> Automate programmable industriel

**SYNTHÈSE**

**Question 39** : compte-tenu de l'étude menée précédemment, préciser en quoi la *VLH* répond aux problématiques suivantes nécessaires au renouvellement des concessions :

- intégration dans le paysage ;
- respect de la faune ;
- amélioration de l'efficacité énergétique.

Préciser, parmi les points évoqués, le ou lesquels répondent aux objectifs fixés par le Grenelle de l'environnement.



# DOCUMENT RESSOURCE DRS1

## ÉNERGIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE (DONNÉES RTE) - ANNÉE 2010

ÉNERGIE PRODUITE		TWh	PARC DE PRODUCTION EN FRANCE	
<b>Production nette</b>		<b>550,3</b>	<b>PUISSANCE MAXIMALE (GW)</b>	<b>31/12/2010</b>
Nucléaire	407,9	Nucléaire	63,1	
Thermique à combustible fossile	59,4	Thermique à combustible fossile	27,4	
dont charbon	19,1	dont charbon	7,9	
dont fioul	7,9	dont fioul	10,4	
dont gaz	30,0	dont gaz	9,0	
Hydraulique	68,0	Hydraulique	25,4	
Éolien	9,6	Éolien	5,6	
Photovoltaïque	0,6	Photovoltaïque	0,8	
Autres sources d'énergie renouvelables*	4,8	Autres sources d'énergie renouvelables*	1,2	
			<b>Total</b>	<b>123,5</b>

\* Principalement : déchets urbains, déchets de papeterie, biogaz.

### HYDROÉLECTRICITÉ

Une centrale hydroélectrique se compose d'une prise d'eau ou d'une retenue d'eau et d'une installation de production. Plus la différence de hauteur est importante, plus la pression de l'eau dans la centrale sera grande et plus la puissance produite sera importante.

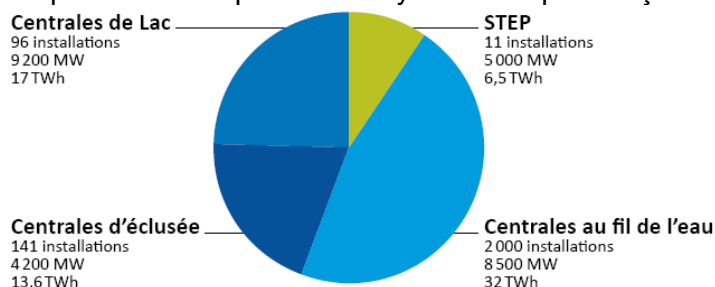
La puissance récupérable d'une chute d'eau peut se calculer par la formule suivante :

$$P = HQgr$$

- $P$  : puissance produite mesurée (kW) ;
- $H$  : hauteur de chute (m) ;
- $Q$  : débit moyen mesuré ( $m^3/s$ ) ;
- $g$  : constante d'accélération de la pesanteur ( $\approx 9,8 m/s^2$ ) ;
- $r$  : rendement de la centrale (compris entre 0,6 et 0,9).

### DIFFÉRENTS MODES DE PRODUCTION

Répartition de la production hydroélectrique française



#### Les centrales de lac

Elles sont associées à une retenue d'eau créée par un barrage. L'eau est captée dans les bassins versants en amont de la retenue, puis stockée derrière le barrage. Elle est ensuite acheminée jusqu'aux turbines de la centrale en contrebas. Capables de fournir très rapidement d'importantes quantités d'énergie, les centrales de lac sont appelées durant les heures de plus forte consommation, en période de pointe, et produisent une électricité à très forte valeur ajoutée. Les ouvrages de lac sont un facteur précieux d'ajustement pour répondre aux variations brusques de la demande des consommateurs, comme par exemple au moment des pics de consommation le matin et le soir et dans les périodes de grand froid.

#### Les centrales au fil de l'eau

Ces centrales ne disposent pas de réservoir et fournissent une énergie de base, non modulable et non stockable, produite « au fil de l'eau », et injectée (consommée) immédiatement sur le réseau. 55 % de la puissance est garantie toute l'année. Près de 1 700 centrales de petite hydroélectricité (d'une puissance inférieure à 10 MW) produisent 5 TWh par an, soit près de 10 % de la production hydroélectrique française.

#### Les centrales d'éclusée

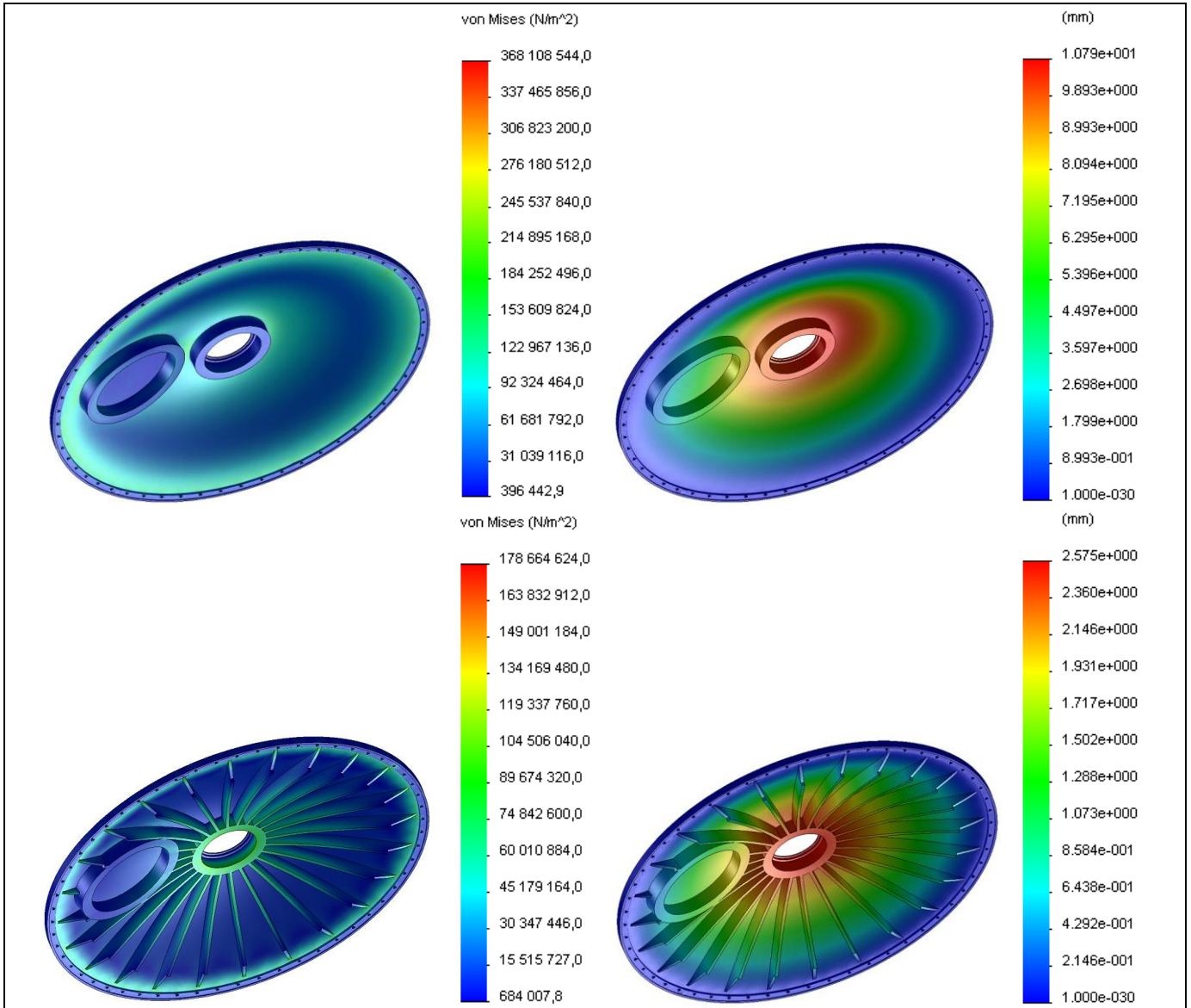
La réserve d'eau correspond à une période d'accumulation assez courte. Aux heures les moins chargées de la journée ou de la semaine, on reconstitue le stock pour apporter un concours précieux dans les heures pleines.

#### Les stations de transfert d'énergie par pompage (STEP)

Les stations de transfert d'énergie par pompage puisent, aux heures creuses, de l'eau dans un bassin inférieur, afin de remplir une retenue en amont (lac d'altitude). L'eau est ensuite turbinée en période de pointe. Les STEP interviennent en dernier recours, notamment en raison du coût engendré pour remonter l'eau (alimentation électrique des pompes).

## DOCUMENT RESSOURCE DRS2

Étude des déformations et analyse des contraintes par éléments finis pour une pression de 1 bar.  
 Limite élastique du matériau : **551 MPa**.



Résultats couvercle avec nervures

Pression (bar)	Déplacement (mm)	Contrainte (MPa)
0,5	1,29	89
1	2,57	179
1,5	3,86	268
2	5,15	357

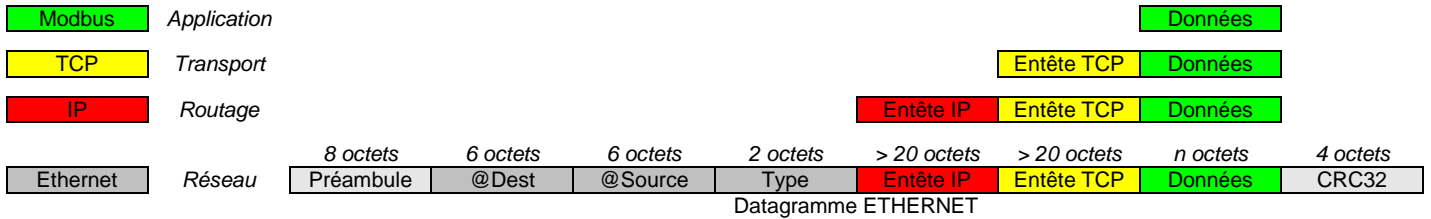
Résultats couvercle sans nervure

Pression (bar)	Déplacement (mm)	Contrainte (MPa)
0,5	5,4	184
1	10,8	368
1,5	16,2	552
2	21,6	736

# DOCUMENT RESSOURCE DRS3

## FORMAT D'UNE TRAME ETHERNET

Le format de la trame Modbus TCP/IP est basé sur le mécanisme de l'encapsulation :



### Décodage des trames Ethernet

	8 octets	6 octets	6 octets	2 octets	46 à 1500 octets	4 octets
Ethernet	Préambule	@Dest	@Source	Type	Données	CRC32

- préambule : octets de synchronisation (Non affiché par les logiciels de capture de trame) ;
- @Dest : adresse MAC de destination ;
- @Source : adresse MAC de la source ;
- type : 08 00 (en hexadécimal) pour un paquet IP ;
- données : données à transmettre ;
- CRC32 : contrôle d'erreur de transmission (non affiché par les logiciels de capture de trame).

### Décodage des paquets IP

Version	Longueur	Type de service	Longueur totale
Identification		Plage	Fragment Offset
Durée de vie	Protocole		Cheksum d'en-tête
Adresse Source			
Adresse Destination			
Données			

- version (sur 4 bits) : version IP (4 pour IPV4, 6 pour IPV6) ;
- longueur (sur 4 bits) : longueur de l'entête en double-mots (32 bits), valeur fréquente 5 soit 20 octets ;
- type de service (8bits) : 00 pour service normal ;
- longueur totale (16 bits) : longueur de l'entête et des données IP en octets ;
- identification (16 bits) : numéro d'identification servant au réassemblage éventuel des paquets ;
- plage (3 bits) + Fragment Offset (13 bits) : informations sur la fragmentation (00 : pas fragmenté) ;
- durée de vie (8 bits) : temps maximal que le paquet peut rester dans le réseau ;
- protocole (8 bits) : indique le protocole utilisé dans la section « données » : 06 pour TCP ;
- cheksum d'en-tête (16 bits) : contrôle de l'entête ;
- adresse source (32 bits) : adresse IP de la source codée en notation hexadécimale ;
- adresse destination (32 bits) : adresse IP de la destination codée en notation hexadécimale.

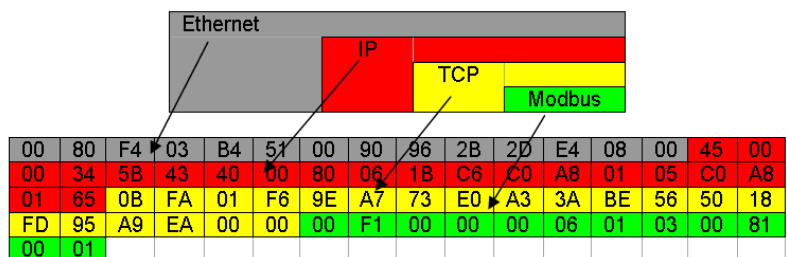
### Décodage de segment TCP

Port Source				Port Destination			
Numéro de séquence							
Numéro d'acquittement							
HLEN	Réservé	Codes	Fenêtre				
Cheksum				Pointeur de données d'urgence			
Données							

- port source (16 bits) : port de l'application source ;
- port destination (16 bits) : port de l'application de destination ;
- numéro de séquence (32 bits) ;
- numéro d'acquittement (32 bits) ;
- HLEN (4 bits) : longueur de l'entête en double-mots ;
- réservé (6 bits) : non utilisé ;
- codes (6 bits) ;
- fenêtre (16 bits) : taille de la fenêtre d'anticipation : non utilisé : 08 00 en notation hexadécimale ;
- cheksum (16 bits) : contrôle des paquets ;
- pointeur de données d'urgence (16 bits) : non utilisé : 00 00.

Exemple de trame Modbus TCP/IP relevée avec un logiciel de capture de trame :

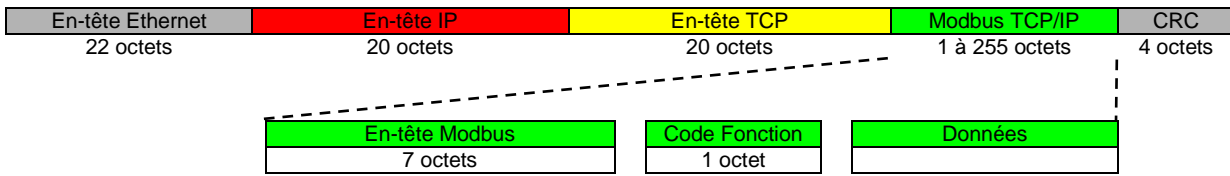
```
00 80 f4 03 b4 51 00 90 96 2b 2d e4 08 00 45 00
00 34 5b 43 40 00 80 06 1b c6 c0 a8 01 05 c0 a8
01 65 0b fa 01 f6 9e a7 73 e0 a3 3a be 56 50 18
fd 95 a9 ea 00 00 f1 00 00 00 06 01 03 00 81
00 01
```



# DOCUMENT RESSOURCE DRS4

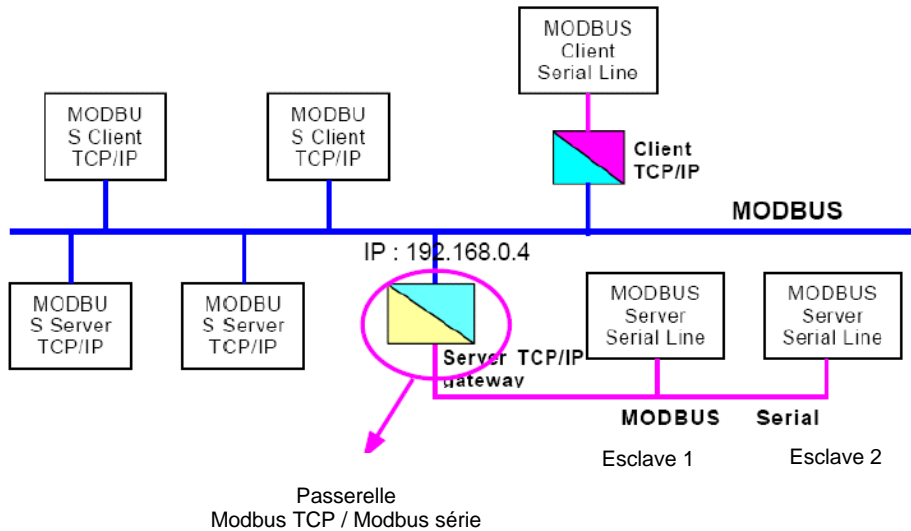
## FORMAT D'UNE REQUÊTE MODBUS

### Format des trames Modbus portées par TCP/IP



#### En-tête Modbus

- identification de la transaction (2 octets) : ce champ est utilisé pour identifier les transactions circulant sur le réseau, afin que le client puisse faire le lien entre une requête qu'il a émise et une confirmation qu'il reçoit ;
- identification du protocole (2 octets) : ce champ permet d'utiliser plusieurs variantes de protocoles et de les distinguer ; pour Modbus, ce champ est à 00 ;
- longueur (1 octet) : ce champ indique la taille (en octets) de la trame Modbus à partir du champ suivant ;
- adresse esclave (1 octet) : ce champ est utilisé lorsque la trame est adressée à une passerelle Modbus-TCP / Modbus-série, afin d'identifier l'adresse Modbus de l'esclave sur cette ligne. Lorsque la trame est adressée à un client Modbus-TCP, ce champ prend pour valeur FF.



#### Code fonction

Code fonction		
Décimal	Hexadécimal	
01	01	lecture de bits de sortie ou bits internes
02	02	lecture de bits d'entrées
03	03	lecture de mots de sortie ou de mots internes
04	04	lecture de mots d'entrée
05	05	écriture d'un bit
06	06	écriture d'un mot
15	0F	écriture de <i>n</i> bits consécutifs
16	10	écriture de <i>n</i> mots consécutifs
23	17	lecture / écriture de <i>n</i> mots consécutifs

#### Format d'une trame de question (demande)

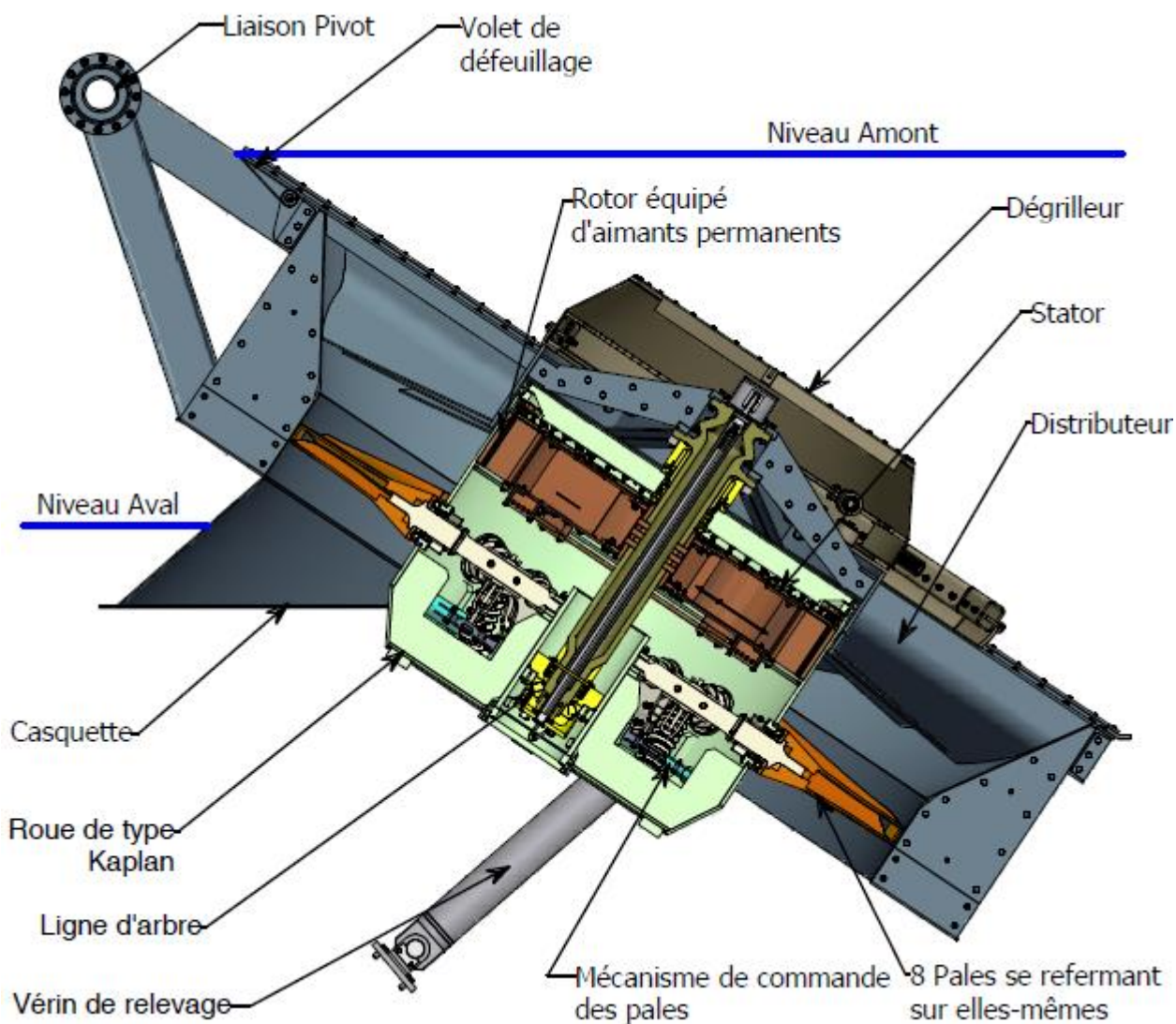
		00	00			FF				
Identification de la transaction	Identification du protocole	Longueur		Adresse esclave	Code de la fonction	Adresse de départ	Nombre de bits ou de mots lus			
2 octets	2 octets	2 octets		1 octet	1 octet	2 octets	2 octets			

#### Format d'une trame de réponse

		00	00			FF				
Identification de la transaction	Identification du protocole	Longueur		Adresse esclave	Code de la fonction	Nombre d'octets renvoyés	Valeurs demandées			
2 octets	2 octets	2 octets		1 octet	1 octet	1 octet	N octets			



**DOCUMENT TECHNIQUE DT1**  
**VUE EN COUPE DU SYSTÈME VLH**



**GROUPE VLH 3550**

*Hauteur nette : 1,62 m*  
*Q maximal : 11,3 m<sup>3</sup>/s*  
*P générée maximale : 146 kW*  
*Inclinaison : 34°*

# DOCUMENT TECHNIQUE DT2

## CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES TURBINES VLH

Débit maximum par groupe en m3/s

		Diamètres de roue en mm				
		3150	3550	4000	4500	5000
Hauteur de chute nette en m	1,4	8,2	10,4	13,3	16,8	20,7
	1,5	8,5	10,8	13,7	17,4	21,4
	1,6	8,8	11,2	14,2	17,9	22,1
	1,7	9,1	11,5	14,6	18,5	22,8
	1,8	9,3	11,8	15,0	19,0	23,5
	1,9	9,6	12,2	15,4	19,5	24,1
	2,0	9,8	12,5	15,8	20,0	24,7
	2,1	10,1	12,8	16,2	20,5	25,4
	2,2	10,3	13,1	16,6	21,0	26,0
	2,3	10,5	13,4	17,0	21,5	26,5
	2,4	10,8	13,7	17,4	22,0	27,1
	2,5	11,0	13,9	17,7	22,4	
	2,6	11,2	14,2	18,1	22,9	
	2,7	11,4	14,5	18,4	23,3	
	2,8	11,6	14,8	18,7		
2,9	11,8	15,0	19,1			
3,0	12,0	15,3	19,4			
3,1	12,2	15,5	19,7			
3,2	12,4	15,8	20,0			

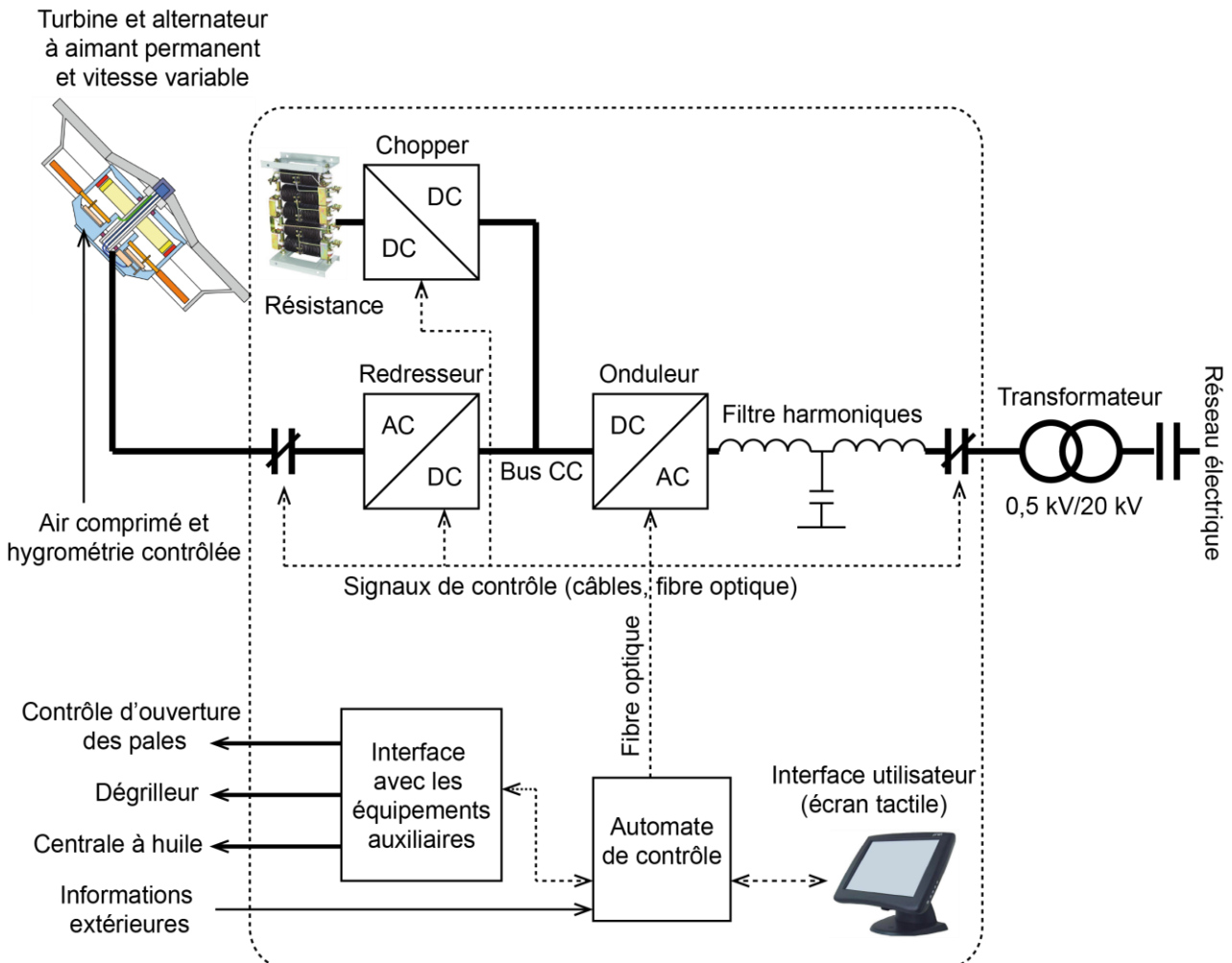
Puissance électrique maximum par groupe en kW (\*)

		Diamètres de roue en mm				
		3150	3550	4000	4500	5000
Hauteur de chute nette en m	1,4	88	112	143	182	225
	1,5	98	124	159	201	249
	1,6	107	137	175	222	275
	1,7	118	150	191	243	301
	1,8	128	163	208	265	328
	1,9	139	177	226	287	356
	2,0	150	191	244	310	384
	2,1	162	206	263	334	413
	2,2	173	221	282	358	443
	2,3	185	236	301	382	474
	2,4	197	252	321	408	
	2,5	210	268	341	433	
	2,6	223	284	362	460	
	2,7	236	300	383	486	
	2,8	249	317	404		
2,9	262	334	426			
3,0	276	352	448			
3,1	290	370	471			
3,2	304	388	494			

Non disponible

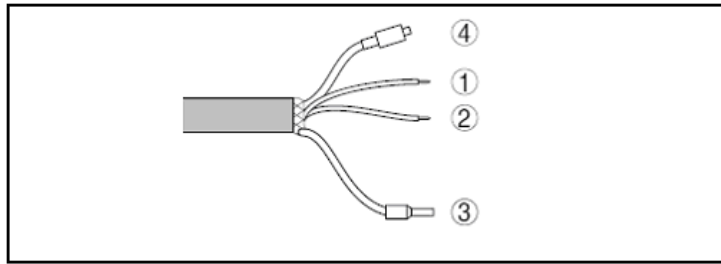
\* Puissance électrique à la sortie du convertisseur de fréquence

## INTERFAÇAGE DU GROUPE GÉNÉRATEUR AVEC LE RÉSEAU



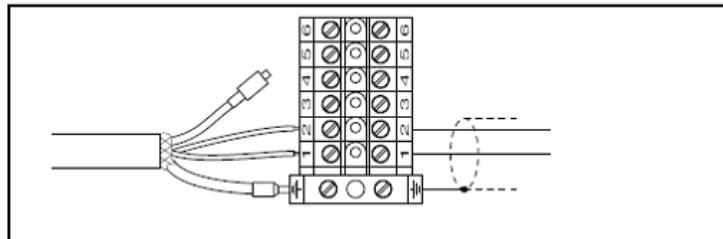
# DOCUMENT TECHNIQUE DT3

## CAPTEUR DE PRESSION HYDROSTATIQUE VEGAWELL 72



Occupation des conducteurs câble porteur

- 1 Bleu(e) (-) : vers l'alimentation de tension et/ou le système d'exploitation
- 2 Brun(e) (+) : vers l'alimentation de tension et/ou le système d'exploitation
- 3 Blindage
- 4 Capillaire compensateur de pression avec filtre



### VEGAWELL 72

Cellule de mesure :	CERTEC®
Produits :	Eau potable et eaux usées
Matériau câble porteur :	PE, PUR, FEP
Matériau élément de mesure :	316L, 316L avec revêtement PE, PVDF, titane
Diamètre élément de mesure :	selon le matériau mini. 32 mm
Température process :	-20 ... +100 °C (-4 ... +212 °F)
Ecart de mesure :	< 0,2 %, < 0,25 %, < 0,1 %
Sortie signal :	4 ... 20 mA, 4 ... 20 mA/HART

#### Grandeur d'entrée

Grandeur de mesure	Niveau
Plage de mesure	de 0 à 1 bar
Turn down max. recommandé	10 : 1

#### Grandeur de sortie

<b>4 ... 20 mA</b>	
Signal de sortie	4 ... 20 mA
Résolution du signal	2 µA
Signal de défaillance	22 mA
Courant de sortie maxi.	22 mA
Temps de mise en route	2 s

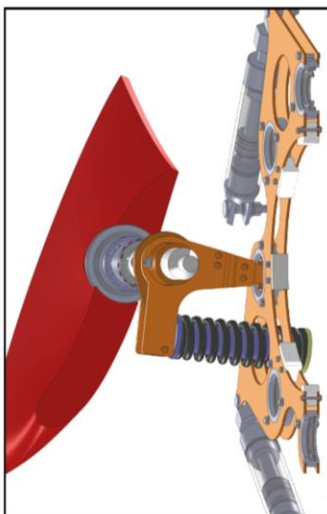
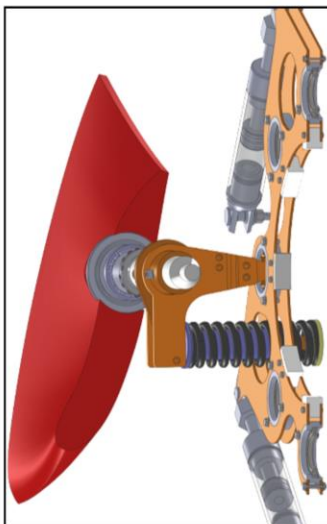
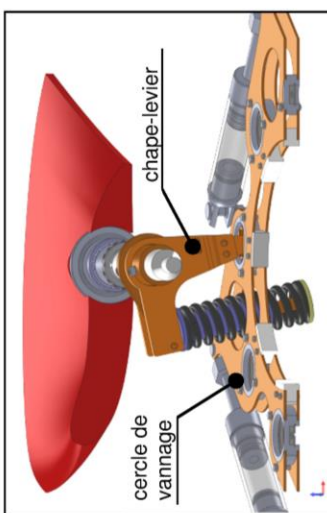
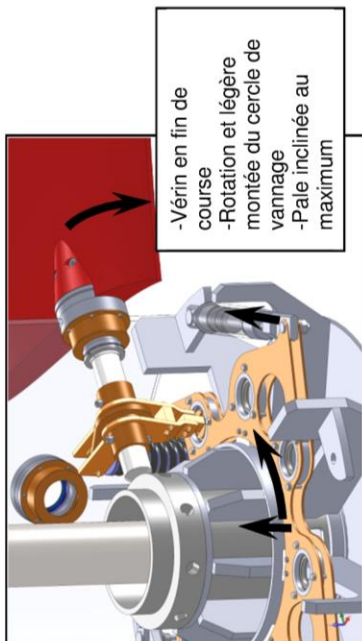
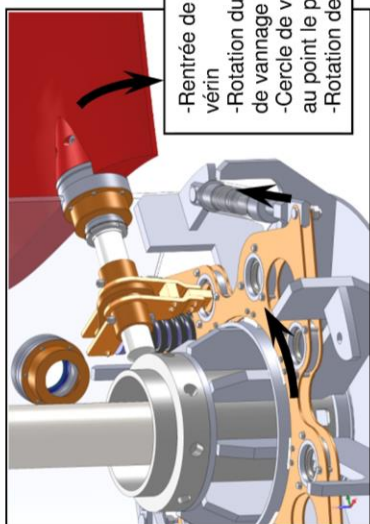
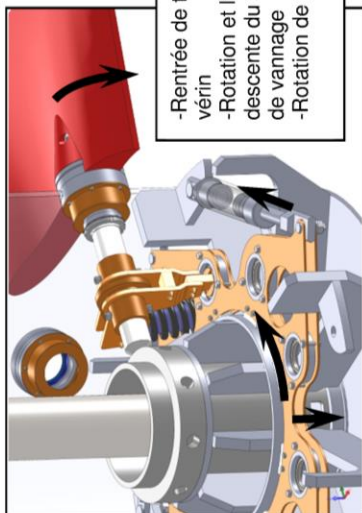
#### Ecart de mesure pour la version 4 ... 20 mA

Les indications se rapportent à l'échelle de mesure réglée. Turn down (TD) = plage de mesure nominale/échelle de mesure réglée.

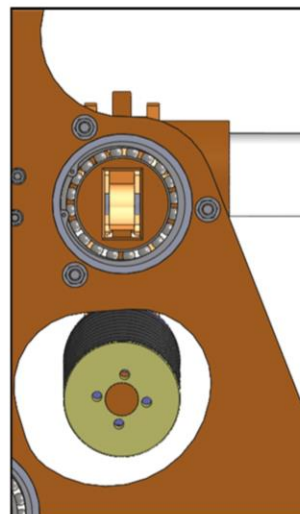
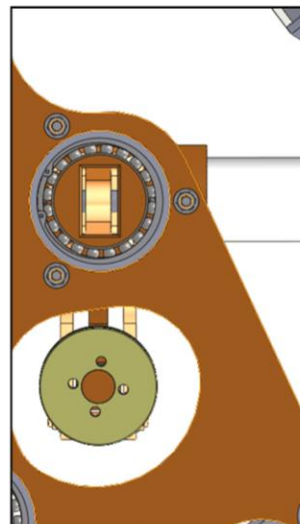
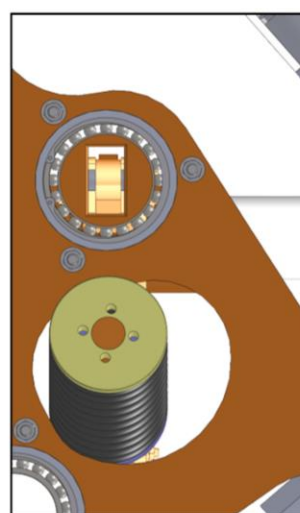
Ecart de mesure	
- Turn down 1 : 1 jusqu'à 5 : 1	< 0,2 %
- Turn down > 10 : 1	< 0,04 % x TD



Inclinaison des pales



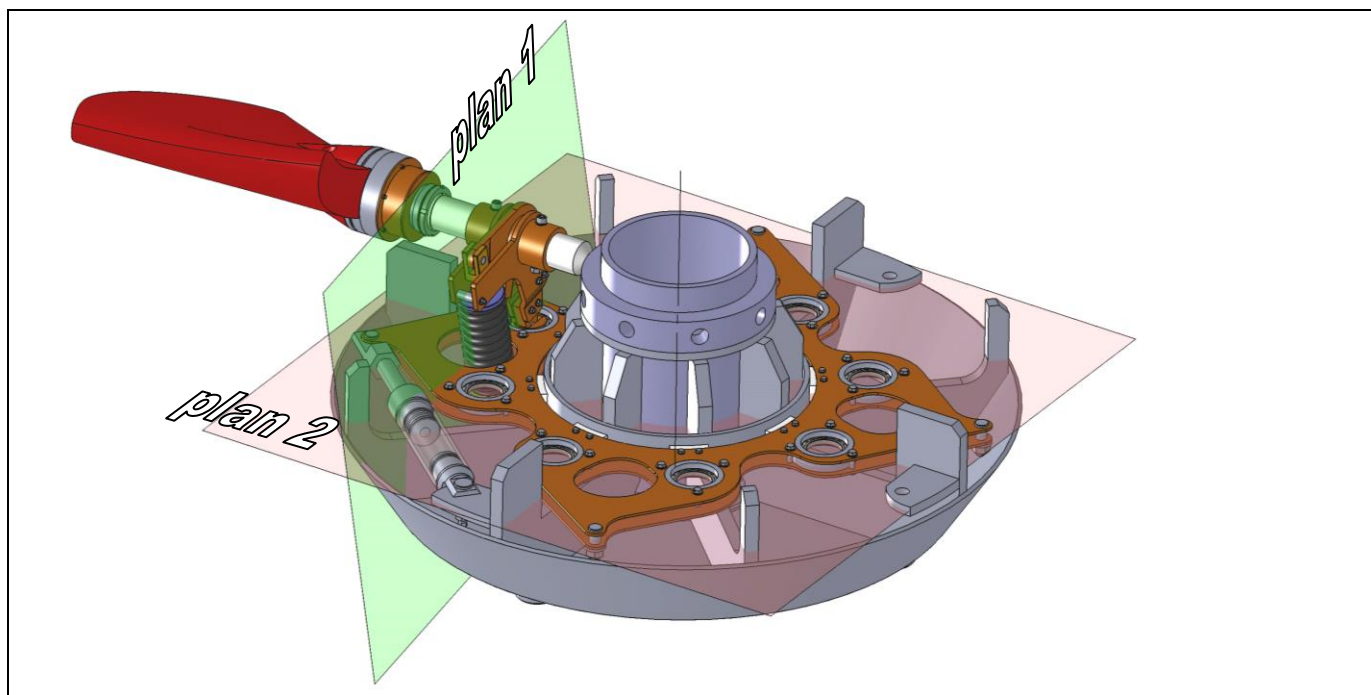
Vue de dessous : Déplacements du levier par rapport au cercle de vannage





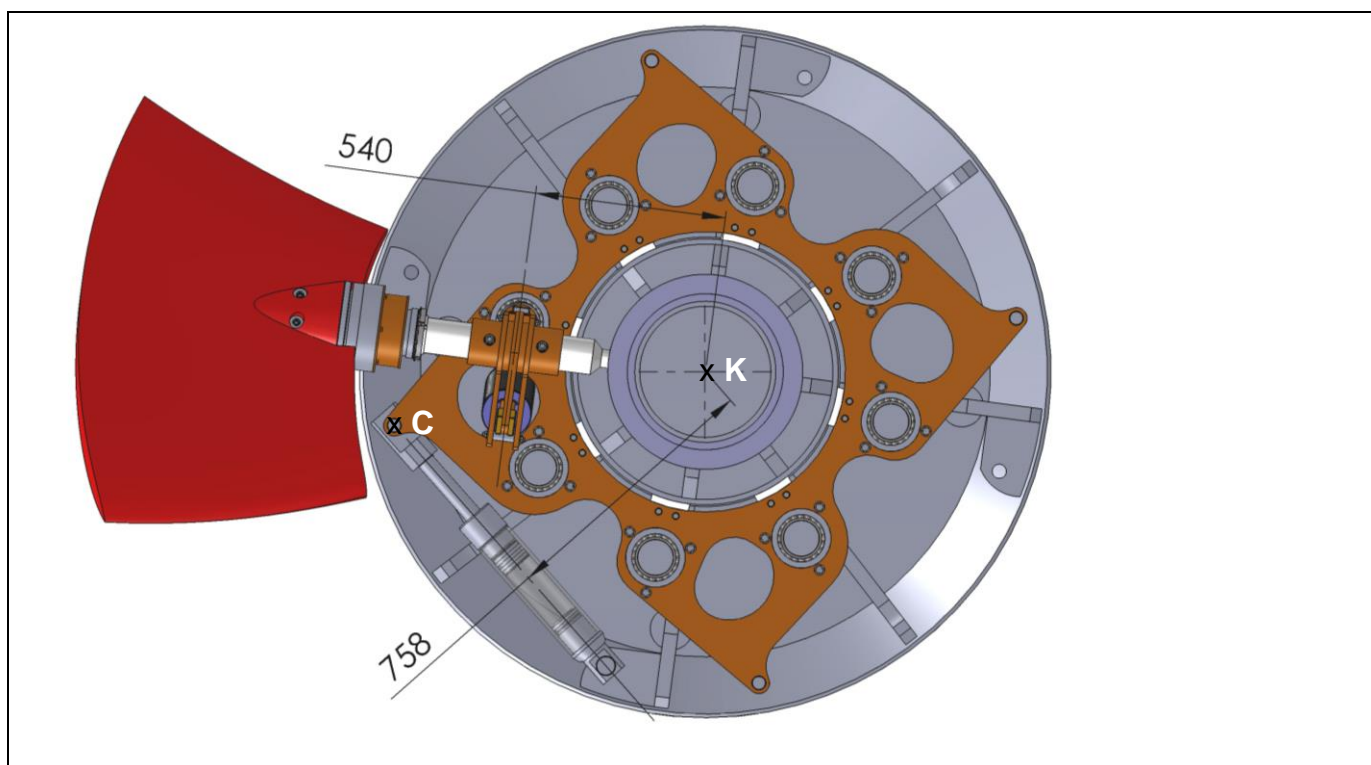
## DOCUMENT TECHNIQUE DT5

Plans d'étude statique



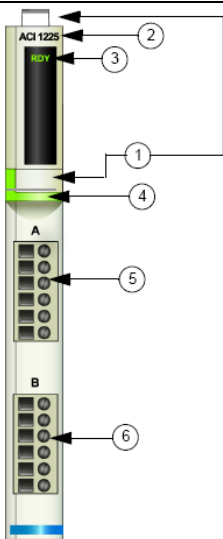
Distance du plan 1 à l'axe de la VLH

Distance entre l'axe du vérin, direction de l'effort, et l'axe de la VLH



# DOCUMENT TECHNIQUE DT6

## MODULE ENTRÉES ANALOGIQUES STB ACI 1225



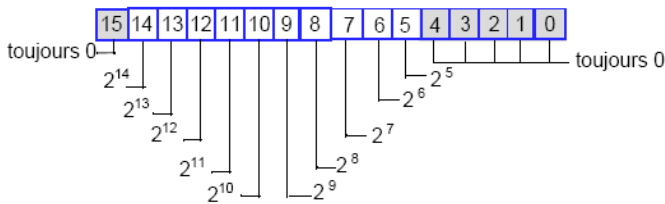
- 1 emplacements des étiquettes
- 2 nom du modèle
- 3 Voyant
- 4 bande d'identification vert clair indiquant un module d'entrée analogique
- 5 le capteur 1 se branche au connecteur de câblage supérieur
- 6 le capteur 2 se branche au connecteur de câblage inférieur

### Tableau des caractéristiques techniques

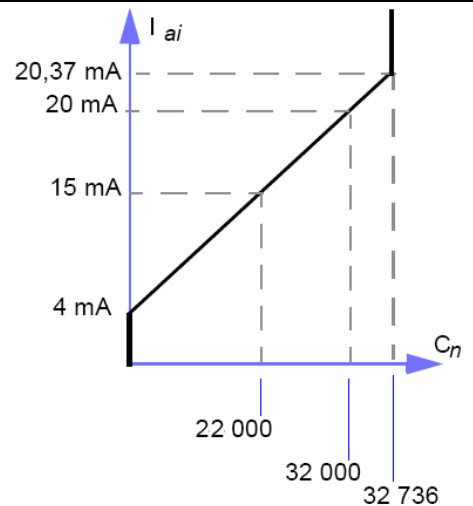
description		deux voies d'entrée de courant analogique à une seule terminaison
plage de courant analogique		4 à 20 mA
résolution		10 bits
format de données renvoyées		CEI
largeur du module		13,9 mm (0.58 in)
base d'E/S		STB XBA 1000 (voir p. 407)
plage de fonctionnement de la tension		19,2 à 30 V cc
consommation de courant du bus logique		30 mA
consommation de courant nominal du bus d'alimentation terrain		225 mA, sans charge
prise en charge du remplacement à chaud*		dépendant du module NIM**
prise en charge des actions-réflexes		non
temps de réponse des entrées	nominal	5,0 ms sur les deux voies
	terrain à bus	1 500 V cc pendant 1 minute
isolation	module analogique à bus de capteur	500 V ca eff (lorsque le bus de capteur n'est pas utilisé pour l'alimentation terrain)
	terrain à bus	1 500 V cc pendant 1 minute
filtre d'entrée		filtre passe-bas unique à une fréquence nominale de 20 Hz
linéarité intégrale		+/- 0,2 % de la pleine échelle

### Structure des mots de données

#### Format de registre de données du module STB ACI 1225



Il existe 10 bits de poids dans chaque mot de données : les bits 14 à 5. Ils permettent la représentation des données de courant avec des valeurs d'entier comprises entre 0 et +32 736 par incréments de 32. La valeur 32 000 représente une entrée de 20 mA. La valeur 0 représente une entrée inférieure ou égale à 4 mA.



### Raccordements (suite)

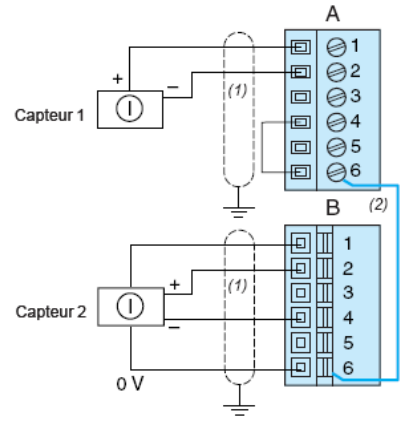
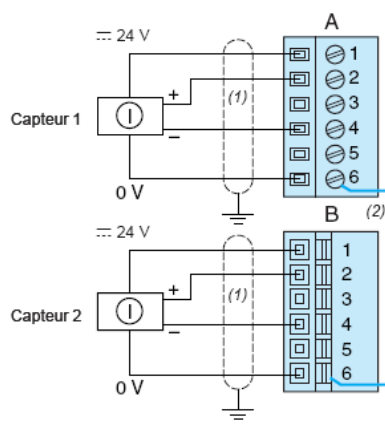
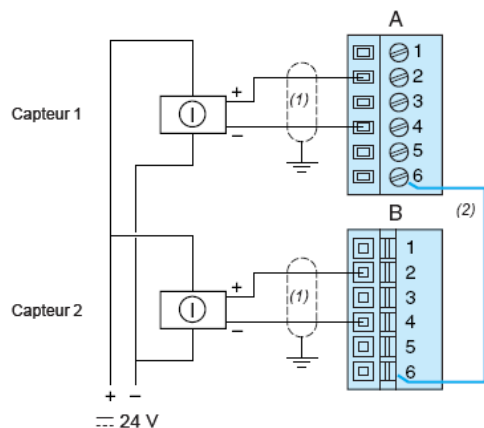
#### Modules d'entrées analogiques

##### STB ACI 1225 K / 1230 K

2 capteurs analogiques isolés, alimentation  $\approx$  24 V externe

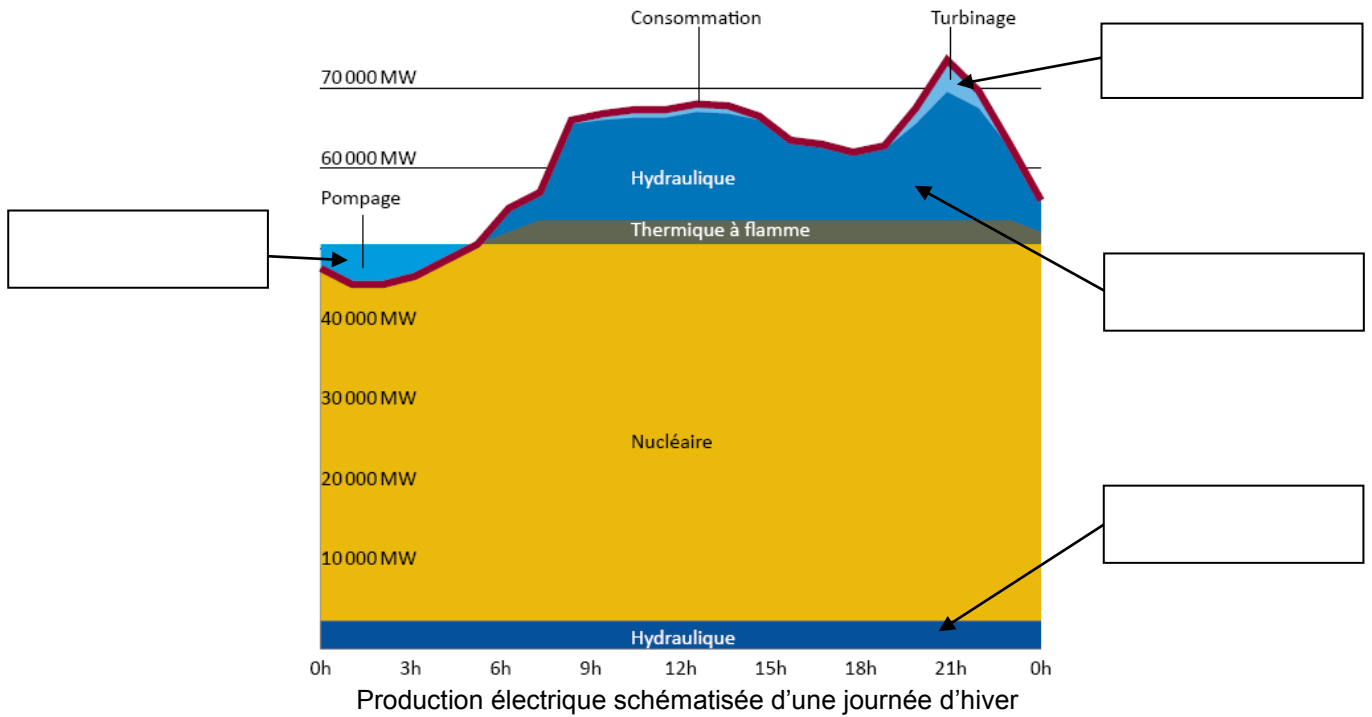
2 capteurs analogiques, alimentation  $\approx$  24 V fournie par le module PDM

2 capteurs analogiques nécessitant une boucle d'alimentation

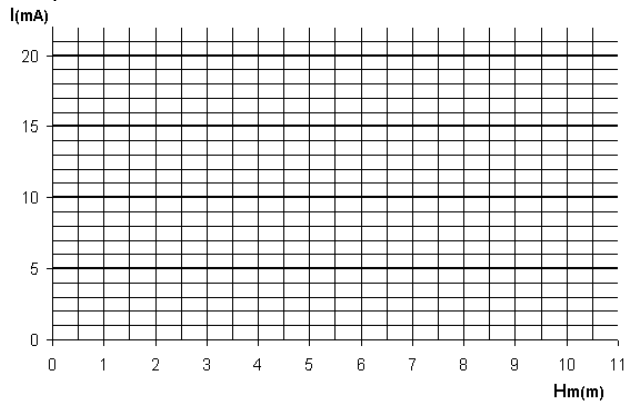


# DOCUMENT RÉPONSE DR1

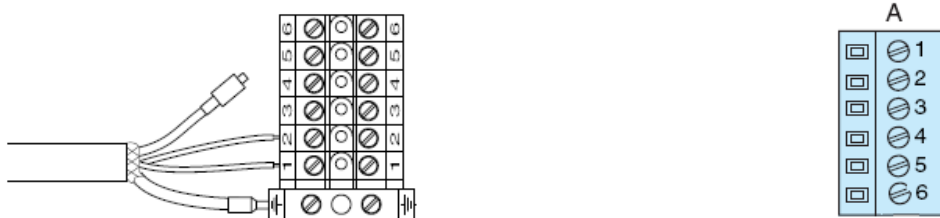
**Question 3 :** modes de production



**Question 7 :** caractéristique du capteur de niveau d'eau



**Question 8 :** raccordement du capteur de pression à la carte d'entrées analogiques



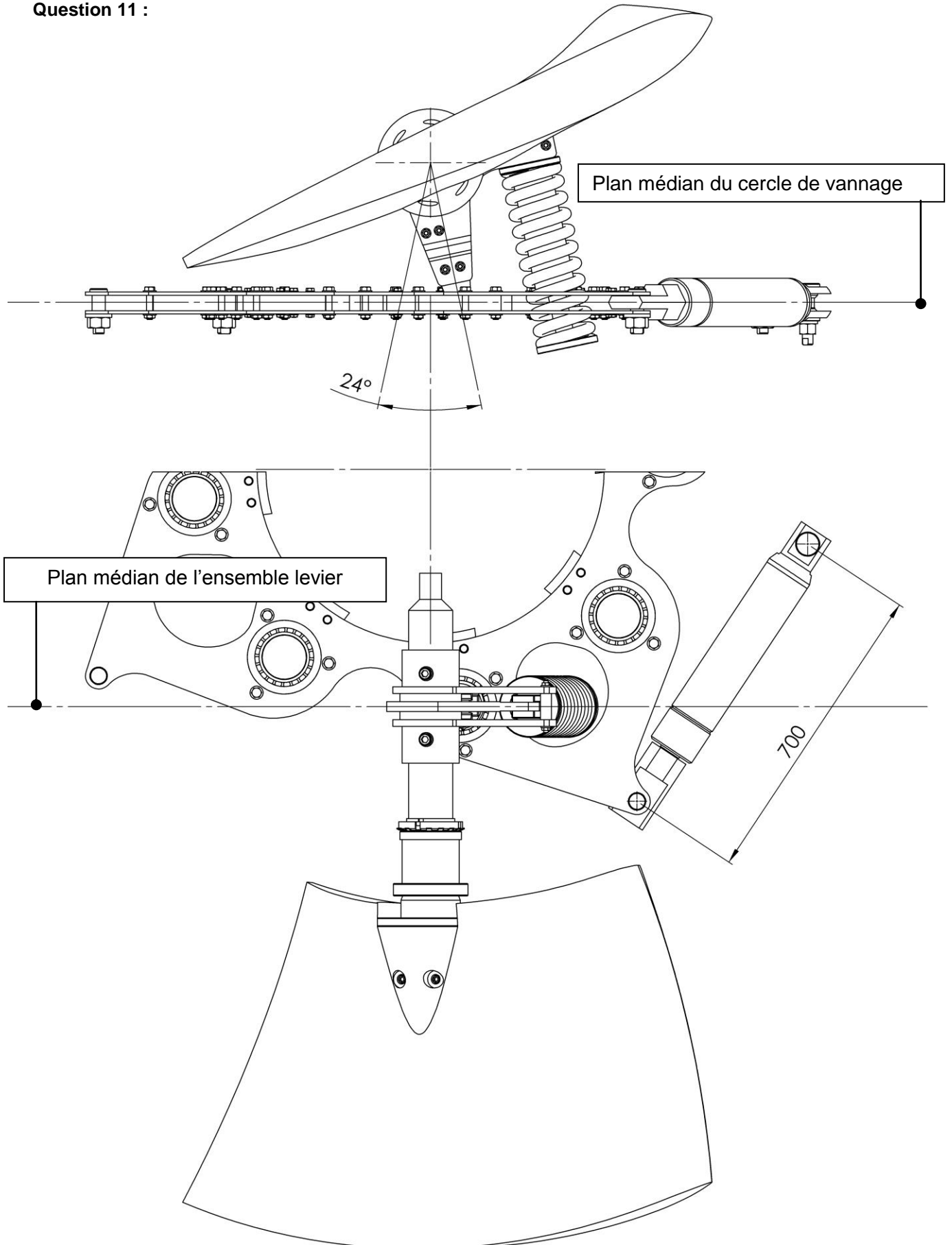
Contenu du registre pour un courant de 6 mA  
Valeur décimale de  $C_n$  :

Valeur binaire de  $C_n$  :

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

# DOCUMENT RÉPONSE DR2

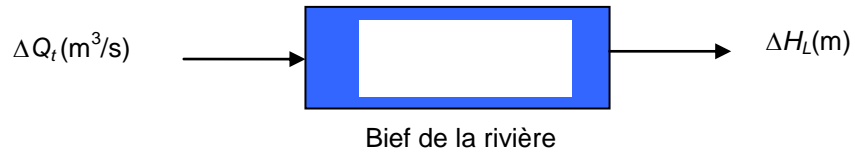
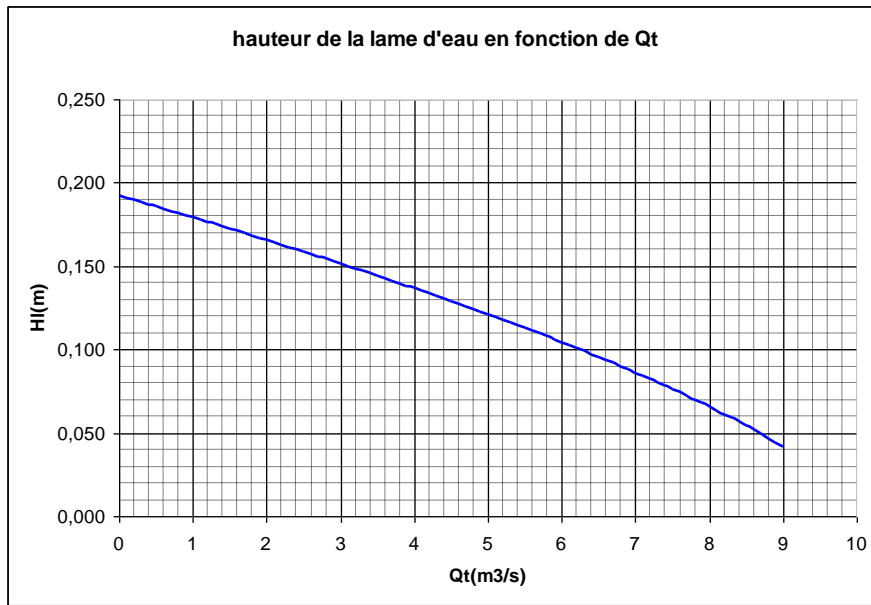
Question 11 :



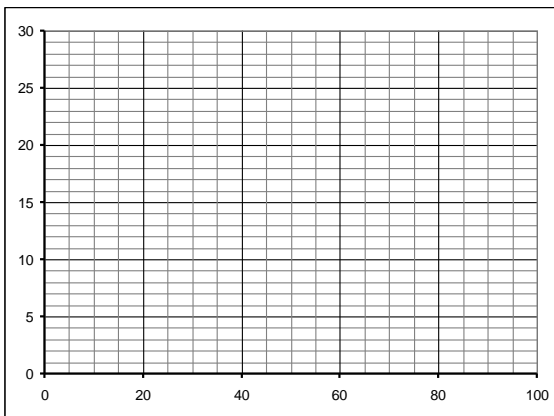


# DOCUMENT RÉPONSE DR3

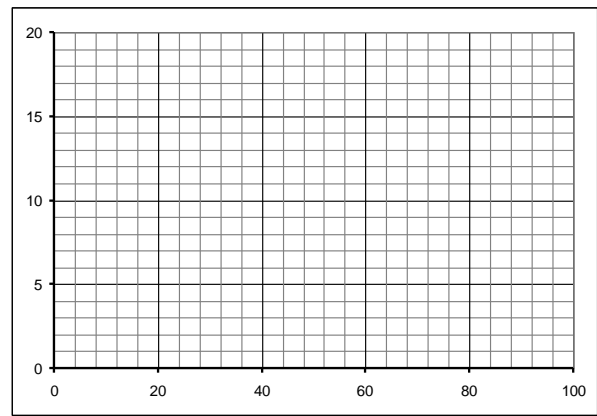
**Question 22 :** modélisation du bief amont



**Question 23 :** caractéristique de la commande de vannage

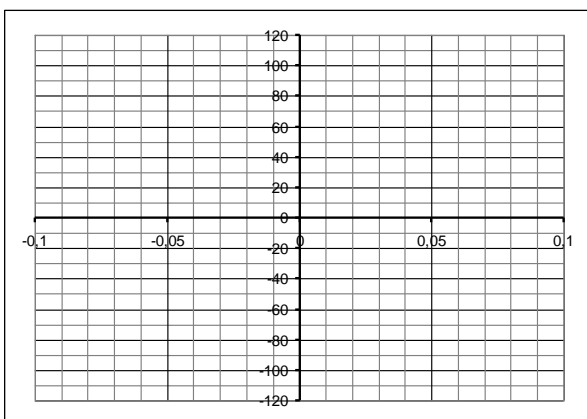


$$\alpha_c = f(Y\%)$$

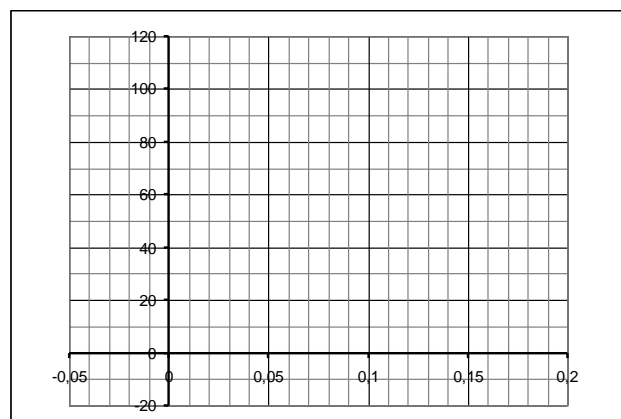


$$Q_t(m^3/s) = f(Y\%)$$

**Question 24 :** étude de la loi de commande



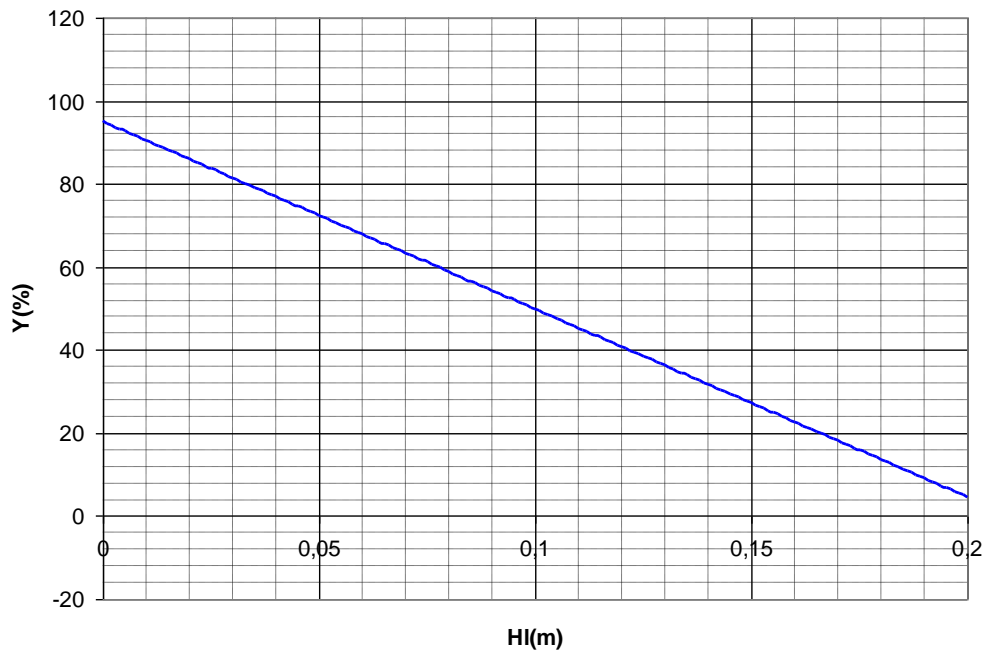
$$Y(\%) = f(\varepsilon(m))$$



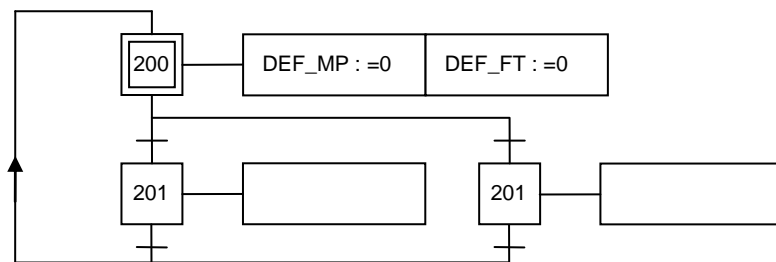
$$Y(\%) = f(H_L(m))$$

## DOCUMENT RÉPONSE DR4

**Question 25 :** point de fonctionnement



**Question 35 :** GRAFCET de surveillance de l'étanchéité de la turbine



**Question 36 :** analyse des trames entre l'automate et le module entrées/sorties déportées

Trame de demande :

```
00 30 de 01 e9 bb 00 80 f4 01 8b a7 08 00 45 00
00 34 c5 3c 00 00 0a 06 ed 57 ac 11 53 0a ac 11
53 03 13 00 01 f6 00 27 c9 1a 93 eb f8 70 50 18
08 00 e5 84 00 00 5a 6c 00 00 00 06 ff 03 15 0f
00 01
```

Trame de réponse :

```
00 80 f4 01 8b a7 00 30 de 01 e9 bb 08 00 45 00
00 33 d9 01 40 00 40 06 63 93 ac 11 53 03 ac 11
53 0a 01 f6 13 00 93 eb f8 70 00 27 c9 26 50 18
3e 80 ec fa 00 00 5a 6c 00 00 00 05 ff 03 02 2a
20
```

Équipements	Adresse MAC	Adresse IP
Automate		
Module entrées/sorties déportées		

**Question 37**

Traduction de la demande :

Traduction de la réponse :