SESSION 2019

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

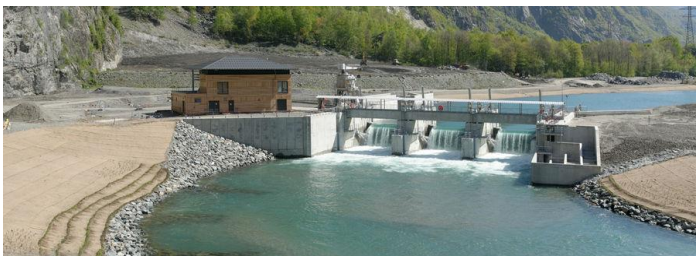
Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable

ENSEIGNEMENTS TECHNOLOGIQUES TRANSVERSAUX

Coefficient 8 – Durée 4 heures

Aucun document autorisé – Calculatrice autorisée

NOUVEL AMÉNAGEMENT HYDROÉLECTRIQUE DE ROMANCHE-GAVET



Constitution du sujet :

- **Dossier sujet** *(mise en situation et questions à traiter par le candidat)*
  - **PARTIE 1 (3 heures)** ..... pages 2 à 9
  - **PARTIE 2 (1 heure)** ..... pages 10 à 11
- **Dossier technique** ..... pages 12 à 19
- **Documents réponse** ..... pages 20 à 24

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

Les documents réponse DR1 à DR4 (pages 18 à 22) seront à rendre agrafés avec vos copies.

Mise en situation

Situées entre le massif de Belledonne et celui de Taillefer, les gorges de la Romanche sont un site historique de production d'hydro-électricité. En 2010, EDF a lancé le projet de construction d'une nouvelle centrale hydroélectrique sur la Romanche, entre Livet et Gavet (Isère).
L'objectif est de remplacer de petites infrastructures hydroélectriques situées le long de la rivière Romanche par une seule centrale hydroélectrique souterraine, ultramoderne, implantée à Gavet.

Figure 1 : ancienne installation avec 5 barrages et 6 centrales

Ce nouvel aménagement constitué d'ouvrages en majeure partie souterrains, remplacera les 6 centrales et 5 barrages existants. Il permettra d'augmenter la production d'électricité à partir d'une énergie propre, renouvelable, sans émission de gaz à effet de serre, tout en réduisant les impacts sur l'environnement.
Intégrant la requalification des ouvrages existants, ce projet donnera un nouveau visage à la vallée de la Romanche.

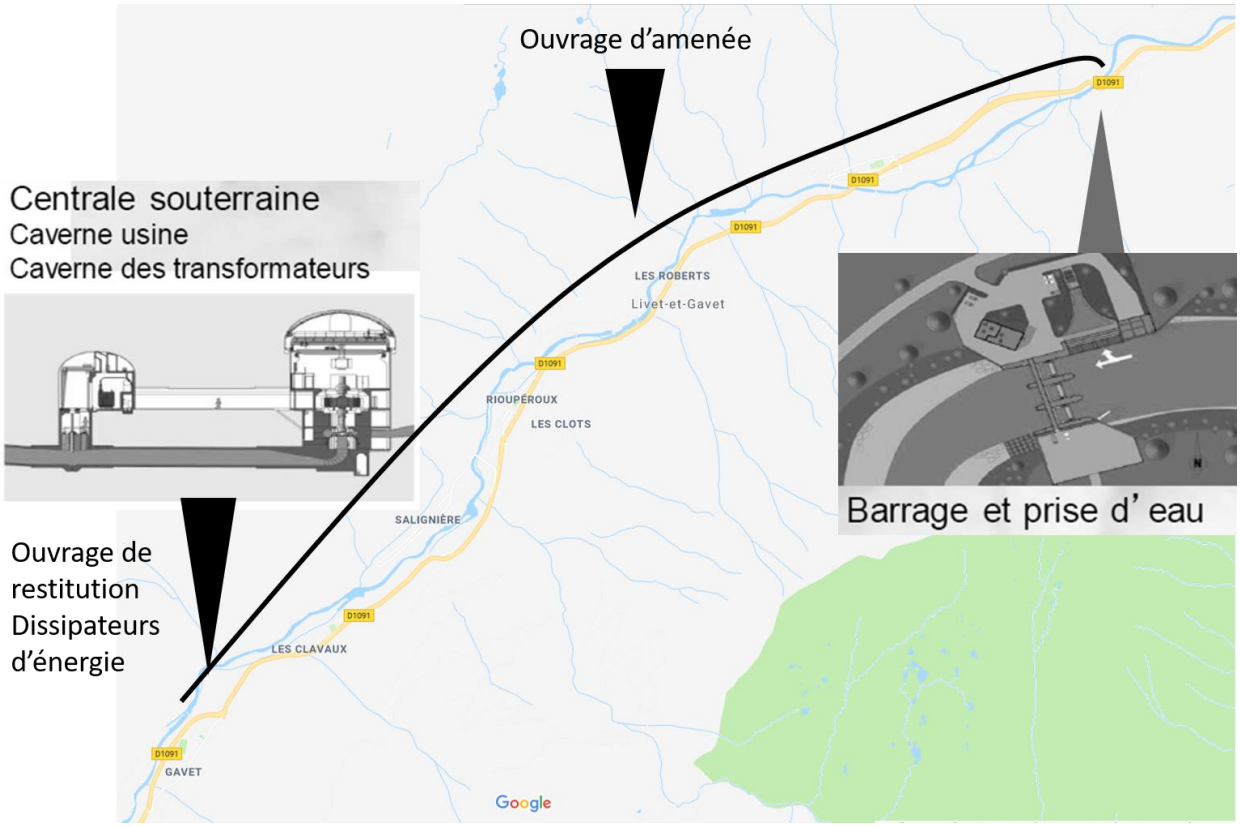


Figure 2 : nouvel aménagement de la vallée

Travail demandé

PARTIE 1

Comment réduire l'impact environnemental et augmenter la production hydroélectrique de la rivière ?

Étude 1 : comment réduire l'impact environnemental de la centrale ?

Question 1.1 DT1, DT2, DT3	À l'aide des documents techniques, **argumenter** sur l'intérêt environnemental de remplacer 6 centrales et 5 barrages par une centrale et un barrage.
Question 1.2 DT1	**Donner** les améliorations touristiques effectuées après la destruction des anciens barrages.
Question 1.3 DT4, DT7 DR1	**Expliquer** pourquoi une passe à poissons est nécessaire sur la rivière. **Choisir** un type de passe à poissons en complétant le tableau DR1, par des -1 ou des +1 et en calculant le total des points. **Conclure** sur la solution technique que vous retenez.
Question 1.4	**Rédiger** une conclusion argumentée (5 lignes maximum) sur la réduction de l'impact environnemental global de la nouvelle centrale par rapport aux anciennes installations.

Étude 2 : comment améliorer le rendement énergétique ?

Nous nous intéressons maintenant au gain énergétique de la nouvelle centrale par rapport aux constructions passées. Le fonctionnement de la centrale est expliqué figure 2, DT2, DT5, DT6 et DT8.

Question 1.5 DT3 DR2	**Lire** puis **reporter** sur le DR2 les rendements de l'alternateur et des turbines Francis.
Question 1.6 DR2	**Calculer** puis **reporter** sur le DR2 les puissances en entrée et sortie des turbines Francis à partir de la puissance $P_{élec}$ en sortie d'alternateurs.

Question 1.7 DT5 DR3	**Lire** puis **donner** l'altitude Z_{amont} du barrage et l'altitude Z_{aval} de la centrale. **En déduire** la hauteur de chute d'eau totale entre le barrage et la centrale et la **reporter** sur le DR3.

Débits moyens mensuels.

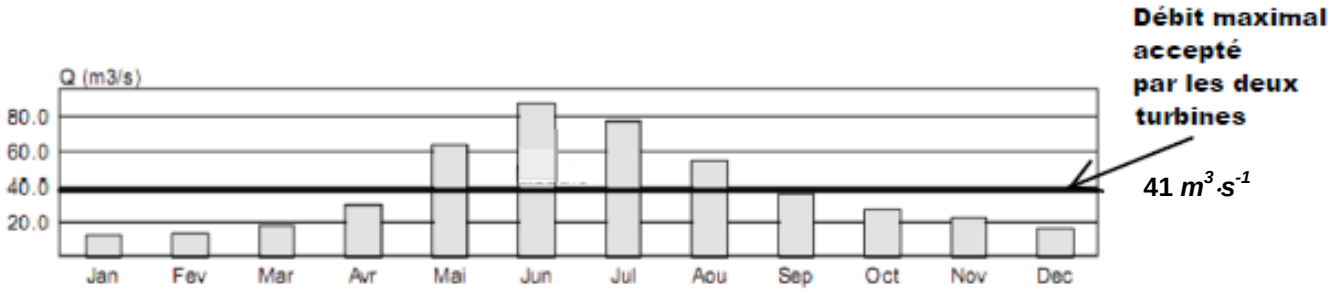


Figure 3 : régime hydrologique de la Romanche à Rochetaillé

Au-delà du débit maximal, une partie de l'eau est délestée dans la rivière.

Question 1.8 DT6 DR3	**Nommer** les mois où les deux turbines seront utilisées avec le débit maximal (utiliser les valeurs numériques du DR3) **Relever** le débit maximal accepté par les turbines sur le DT6 et **compléter** les débits turbinés sur le DR3.

Formule de puissance hydraulique sans perte de charges : $P_p = \rho_{eau} \cdot g \cdot h \cdot Q$

P_p *: Puissance hydraulique (W)*

ρ_{eau} *: Masse volumique de l'eau 1000* $kg \cdot m^{-3}$

g : accélération terrestre 9,81 $m \cdot s^{-2}$

h : hauteur de chute (m)

Q : débit ($m^3 \cdot s^{-1}$*)*

Question 1.9 DR2, DR3	**Calculer** la puissance hydraulique maximale notée P_P pour une hauteur de chute de 273 m et un débit de 41 $m^3 \cdot s^{-1}$. **Compléter** les documents réponses DR2 et DR3.

Question 1.10

DR2

Calculer la puissance perdue dans les ouvrages d'amenée d'eau (galerie d'amenée + puits blindé) à l'aide des résultats de la question 1.6 et de la question 1.9.

Calculer le rendement de l'amenée d'eau (galerie d'amenée + puits blindé) η_1 et le **reporter** sur le DR2.

Question 1.11

DR2, DR3

Calculer, à l'aide des rendements, du DR2 le rendement global de la centrale hydraulique, puis **compléter** le rendement sur le DR3.

Question 1.12

DR3

Calculer la puissance électrique en sortie de la centrale pour la puissance hydraulique maximale.

Compléter les puissances sur le DR3.

Question 1.13

DR3

Compléter le tableau du DR3 en calculant l'énergie électrique produite par mois (30 jours de 24h) en MWh.

En déduire la quantité d'énergie électrique produite annuellement par la centrale.

Les anciennes installations avaient une production électrique annuelle maximale de 405 GWh

Question 1.14

Rédiger une conclusion argumentée (5 lignes maximum) sur le rendement global de la nouvelle centrale, par rapport aux anciennes installations.

Étude 3 : comment réguler le débit d'eau dans la turbine Francis pour optimiser la production d'électricité ?

Selon le débit de la rivière, il est nécessaire de gérer le débit de la turbine afin d'avoir une production optimale d'électricité. Les directrices (voir figure 4) ont un rôle de régulation. Elles contrôlent le débit de l'eau dans la turbine. Elles sont reliées au mécanisme de vannage qui permet de les faire pivoter dans l'axe de leur tourillon et ainsi de faire varier l'espace entre elles. Ce faisant, l'effet est immédiat sur le débit.

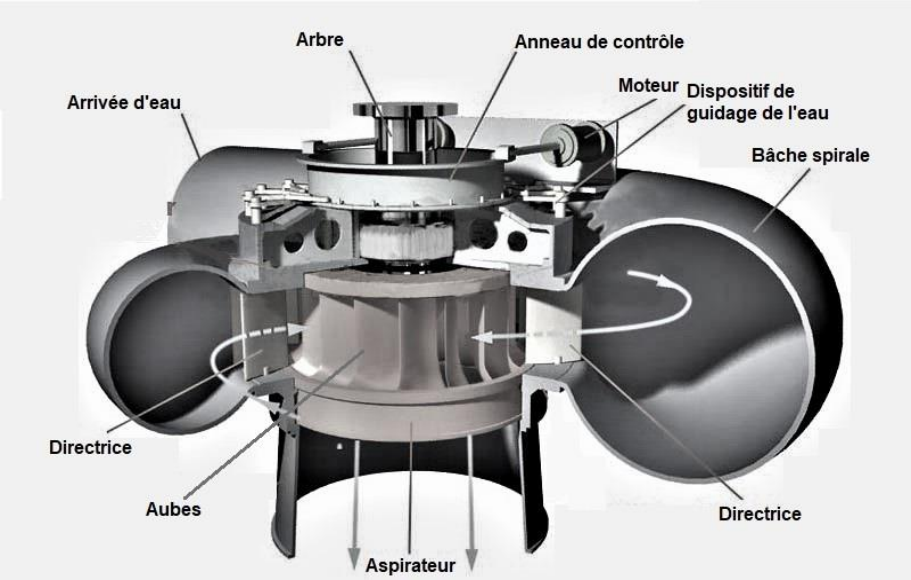


Figure 4 : composants de la turbine Francis.

Question 1.15

DR4

Compléter la chaine d'information et d'énergie sur le document réponse DR4 avec les termes suivants :

Acquérir, Distribuer, Convertir, Traiter, Transmettre.

Le débit Q ainsi mesuré n'est pas directement transmis à l'unité du traitement, mais est transmis sous la forme d'une intensité électrique I en mA. Un débitmètre est utilisé afin de mesurer le débit à l'arrivée d'eau de chaque turbine. Ci-dessous un tableau représentant les valeurs de sortie d'intensité du débitmètre par rapport aux valeurs de débits d'eau.

Débit d'eau ($\mathbf{m^3 \cdot s^{-1}}$)	0	30	80
Sortie intensité du débitmètre (mA)	4	10	20

Le débit maximum pour une turbine est de Q_{max} = 20,5 $m^3 \cdot s^{-1}$ et le débit minimum est de Q_{min} = 8,2 $m^3 \cdot s^{-1}$.

Question 1.16

Calculer par interpolation les valeurs de courant I_{min} et I_{max} à la sortie du débitmètre qui correspondent aux deux valeurs du débit Q_{min} et Q_{max}.

Pour pouvoir transmettre ce signal électrique issue de notre débitmètre à l'unité de traitement, il faut le numériser puisque ces données seront exploitées par un circuit numérique (automate programmable, microprocesseur, microcontrôleur, …). Pour ce faire, on utilise un convertisseur analogique/numérique (CAN) qui transforme une donnée analogique en une donnée numérique.

Question 1.17 | À partir du document DT9, **Déterminer** le quantum q du CAN.

DT9

On prendra I_{max} = 8 mA.

Question 1.18 | **Calculer** la valeur binaire à la sortie du CAN qui correspond à I_{max}.

Le contrôle de débit de la turbine se commande par l'orientation des directrices. Chacun des deux moteurs qui commandent l'orientation des directrices (voir document technique DT9) est équipé d'un capteur de position absolu, de type **MHM510-CANO**.

Le cahier des charges impose les éléments suivants :

- Résolution du capteur : +/- 0,5°
- Temps minimum pour transmettre les différentes valeurs numériques : 20 ms.

Question 1.19 | En utilisant le document technique DT10, **déterminer** la valeur maximale **N_{max}** du nombre de pas par tour des codeurs utilisés.

DT10

DT9

Question 1.20 | **Calculer** le nombre de pas **N_{pas}** pour une variation d'un degré d'angle.

En déduire la valeur de la résolution du capteur **PRE** = 1 / N_{pas} $\left(^{deg}/_{pas}\right)$

L'objectif maintenant est de valider le choix d'un bus de transfert d'informations.

Le débit maximal d'un bus CAN est contraint par la longueur du bus comme indiqué ci-après**:**

Débit Maxi	1 Mbit/s	800 kbit/s	500 kbit/s	250 kbit/s	125 kbit/s	62.5 kbit/s	20 kbit/s	10 kbit/s
Longueur	30 m	50 m	100 m	250 m	500 m	1000 m	2500 m	5000 m

Maxi								

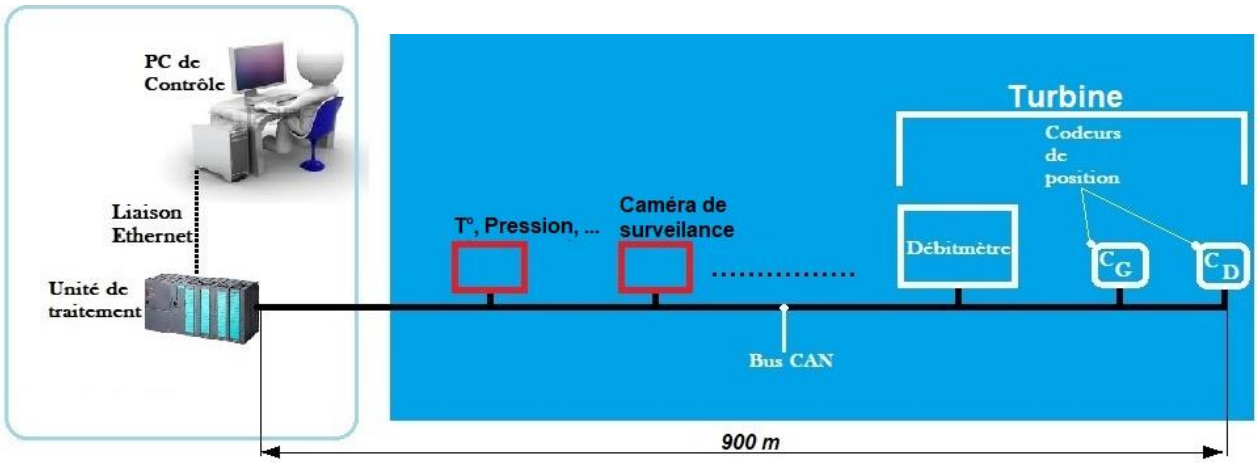


Figure 5 : réseaux de pilotage et de supervision de la centrale.

Question 1.21 | **Déterminer** à quel débit maximal pourra être configuré ce réseau.

Question 1.22 | En **déduire** T**,** la durée de transmission d'un bit sur le bus CAN ainsi configuré.

Pour transmettre la position d'un codeur via le bus CAN à l'automate, le format d'un message/trame standard ISO 11898 version 2.0A est indiqué figure 6 :

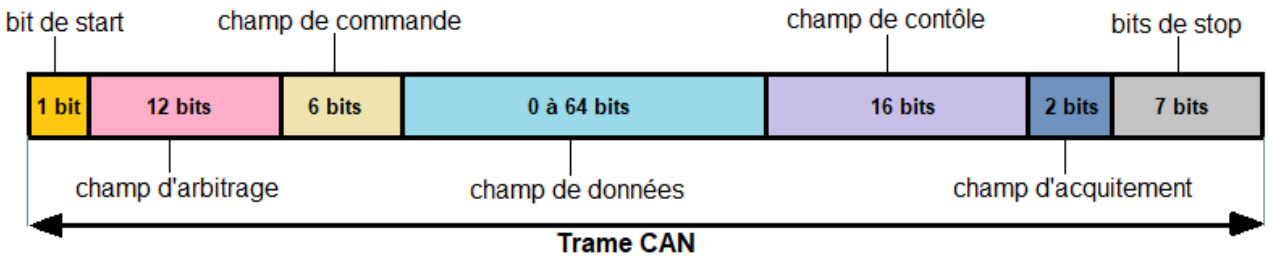


Figure 6 : format d'une trame standard ISO 11898 version 2.0A

Question 1.23 | À partir de la trame de données précédente**, calculer** les temps nécessaires T_{TRAME_min} et T_{TRAME_MAX} pour transmettre les données issues d'un capteur sur le bus CAN.

Donner et justifier le temps de transmission qui doit être pris en considération pour s'assurer du bon fonctionnement du système, quelle

que soit la situation.

Dix capteurs sont connectés au réseau du bus CAN (parmi lesquels se trouve les codeurs de position et le débitmètre).

Question 1.24 | **Déterminer** le temps maximal nécessaire $\mathbf{T_{TRAME_TOT}}$ pour transmettre les données de 10 capteurs.

Question 1.25 | **Rédiger** une conclusion sur le respect du cahier des charges.

PARTIE 2

Étude 4 : les vérins choisis sont-ils correctement dimensionnés ?

Pour des raisons écologiques il faut laisser un débit minimal de $4\ \mathrm{m}^3 \cdot \mathrm{s}^{-1}$ dans la rivière.

Cette fonction est assurée par un barrage composé de trois vannes installées au niveau de la prise d'eau (DT6 et photo page 1). Chaque vanne est manœuvrée par deux vérins hydrauliques.

Quand on soulève une vanne, l'effort est maximal au début de la manœuvre. Nous allons commencer par calculer les efforts sur la vanne dus à la poussée de l'eau.

$\overrightarrow{F_{(eau \rightarrow vanne)}} = \rho_{eau} \cdot g \cdot L \cdot 0{,}5 \cdot h^2$

ρ_{eau} : *Masse volumique de l'eau 1000 kg·m^{-3}*

g : accélération terrestre 9,81 m·s^{-2}

h : hauteur de la vanne (m)

L : longueur de la vanne = 10 m

Question 2.1 | **Relever** la hauteur de la vanne sur le DT3.

DT3 | **Effectuer** le calcul de l'effort $\overrightarrow{F_{(eau \rightarrow vanne)}}$

Pour les questions 2.2 et 2.3, nous ne prendrons pas en compte le poids de la vanne.

Question 2.2 DR5	Sur le DR5, **positionner** en C l'effort calculé en 2.1. Vous utiliserez une échelle de **1 cm pour 100 kN** **Tracer** la direction de l'effort en A.
Question 2.3 DR5	**Trouver** les efforts $\overrightarrow{F_A}$ et $\overrightarrow{F_B}$ en appliquant le principe fondamental de la statique à 3 forces. On pourra utiliser les axes tracés à droite du schéma. **Noter** vos résultats sur le DR5

Pour la suite de l'étude nous utiliserons un effort $\left\|\overrightarrow{F_B}\right\|$ de 300 kN soit 150 kN pour chaque vérin (en prenant en compte la masse de la vanne).

Nous allons vérifier si le coefficient de sécurité du vérin est suffisant.

Question 2.4	**Calculer** la section du vérin pour un diamètre extérieur de 10 cm. **Calculer** la contrainte normale dans la tige d'un vérin. Sachant que la limite élastique de l'acier du vérin est de 220 MPa **calculer** le coefficient de sécurité.

Nous allons maintenant vérifier si la pression est suffisante pour soulever la vanne.

Le vérin a une tige de diamètre d = 10 cm et un tube de diamètre D=18 cm.

On utilisera la formule suivante :

$$p = \frac{4 \cdot F_{verin}}{\pi \cdot (D^2 - d^2)}$$

p : pression dans le vérin (Pa)

D : diamètre du tube (m)

d : diamètre de la tige (m)

F_{verin} : effort du vérin ($150 \cdot 10^3$ N)

Question 2.5	**Calculer** la pression dans le vérin.

Pour ce genre d'ouvrage, un coefficient de sécurité de dix est utilisé pour les contraintes.

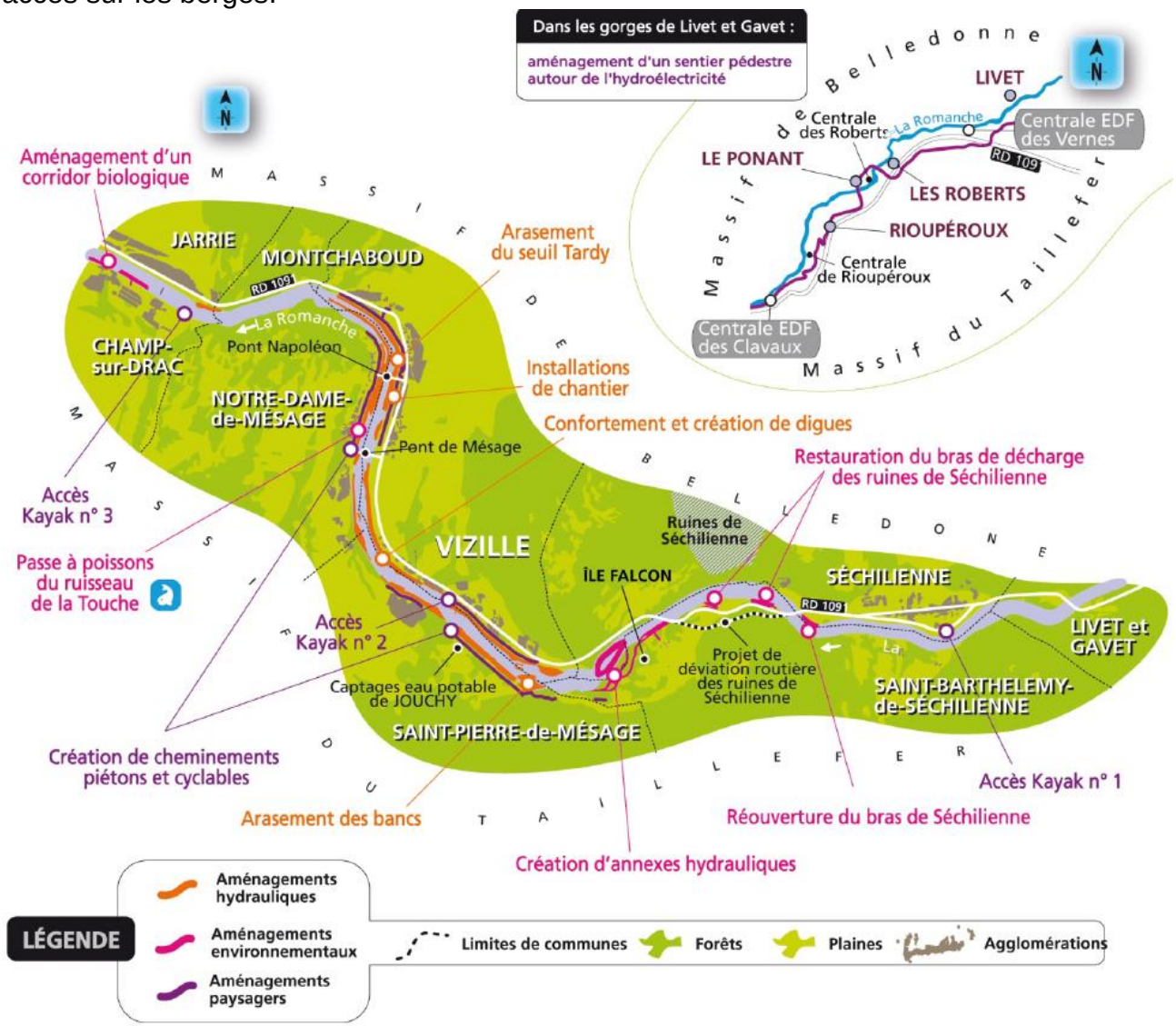
La société d'exploitation utilise une pression de 120 bar (12 MPa) pour les vérins.

Question 2.6 | **Conclure** sur le dimensionnement des vérins.

Document technique DT1 : aménagement de la rivière.

Le projet Romanche Séchilienne est un projet intégré d'aménagement de rivière, qui s'étend sur environ 12 km de cours d'eau.
Il a été conçu dès 2006 dans le cadre d'une démarche globale et concertée, afin de répondre aux objectifs suivants :

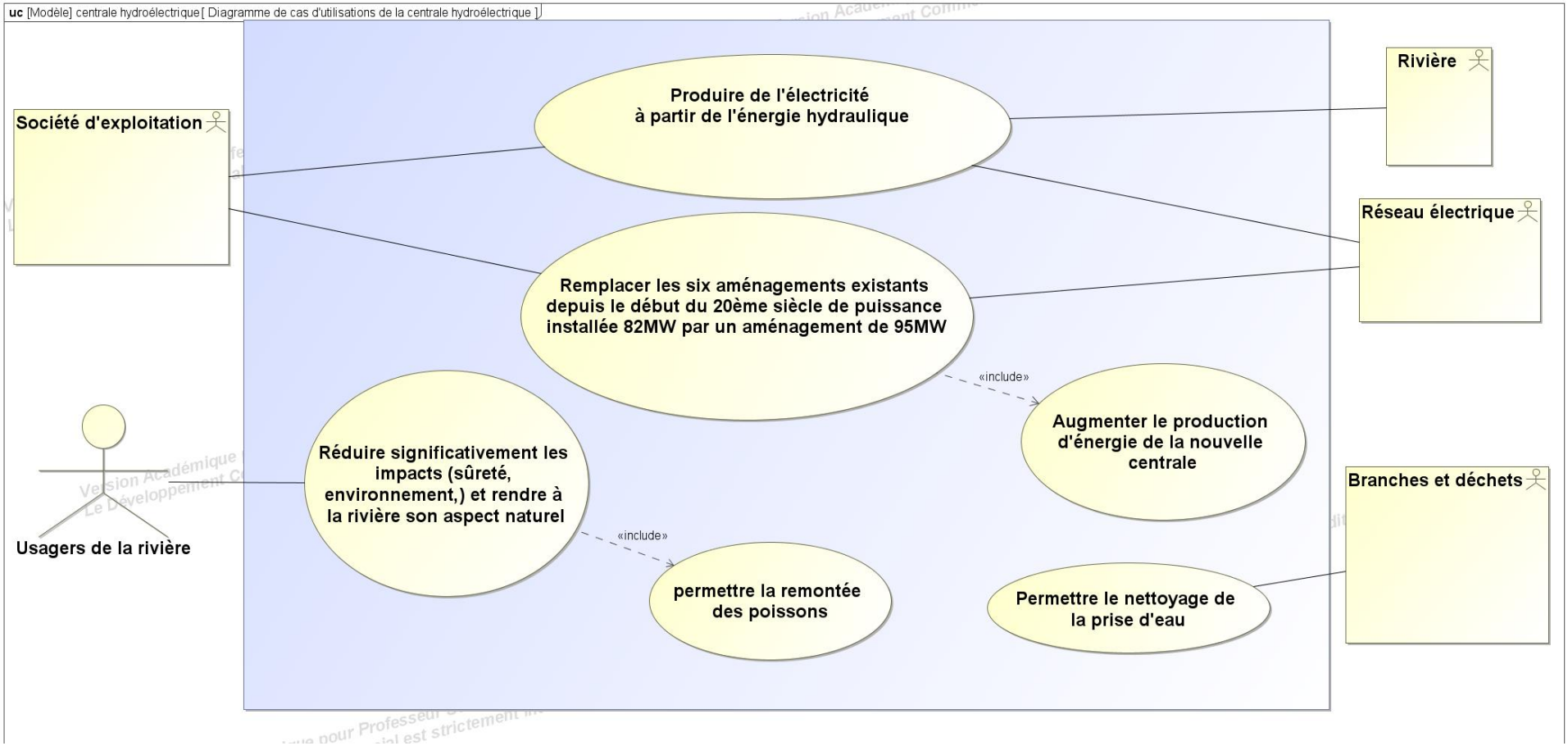
- Protection des zones urbanisées contre le risque de crue centennal et des conséquences hydrauliques généré par un effondrement des Ruines de Séchilienne ;
- valorisation environnementale des milieux liés au cours d'eau ;
- accompagnement paysager du projet, avec développement des loisirs et des accès sur les berges.



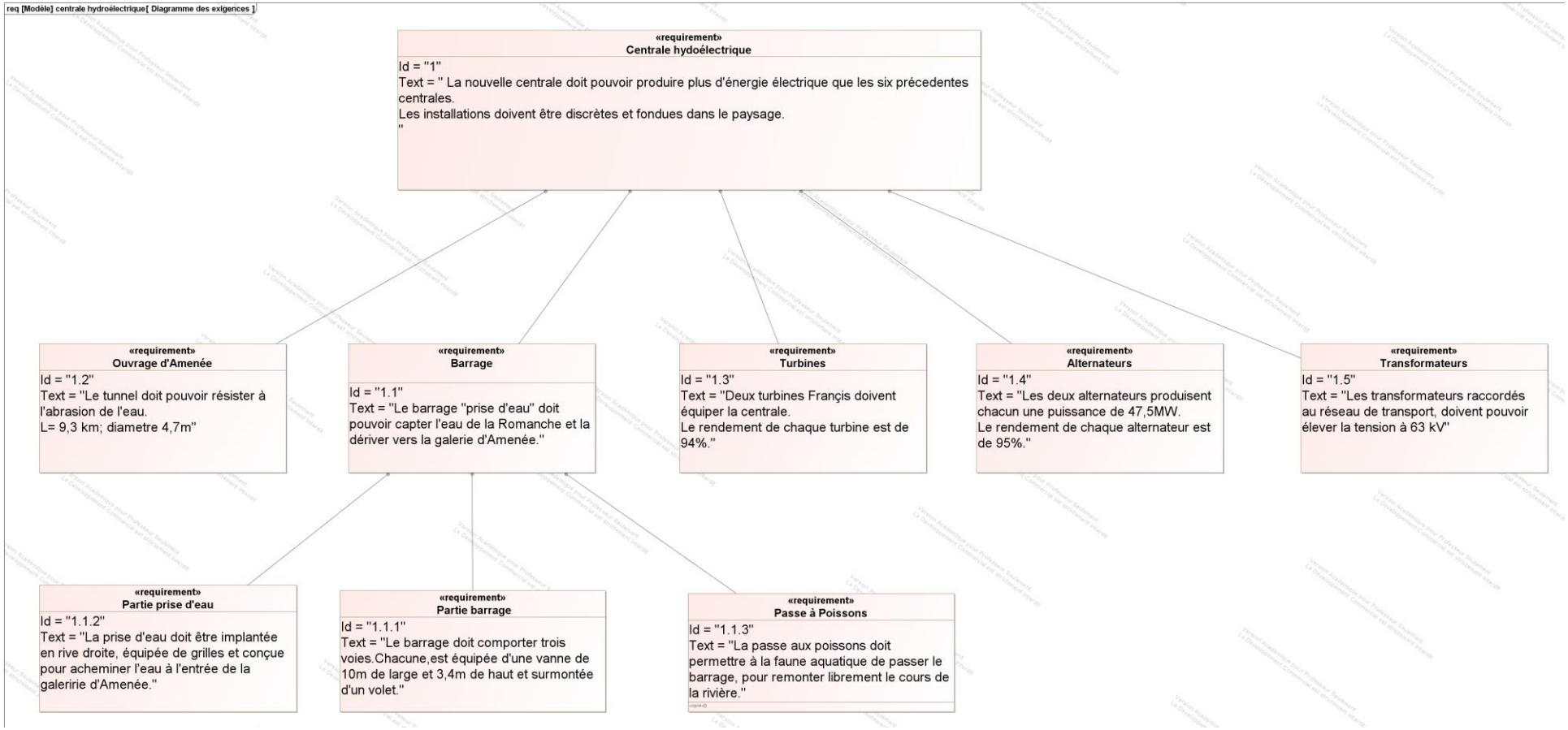
La valorisation environnementale des milieux liés au cours d'eau se traduit d'abord par la restauration des connexions biologiques, tant du point de vue de la faune piscicole, avec le réaménagement d'une passe à poissons, que de la faune terrestre (en particulier le castor) avec la création d'ilots végétalisés en pied de berge, permettant un déplacement à couvert.
Dans le souci d'assurer l'intégration paysagère des aménagements hydrauliques, le projet prévoit la végétalisation des digues et des replantations.

En matière de loisirs, des chemins sont prévues en crête de digue, afin d’accueillir les cycles et les piétons. Enfin, un sentier pédestre d’environ 9 km est créé.

Document technique DT2 : diagramme d'utilisation.



Document technique DT3 : diagramme d’exigence.



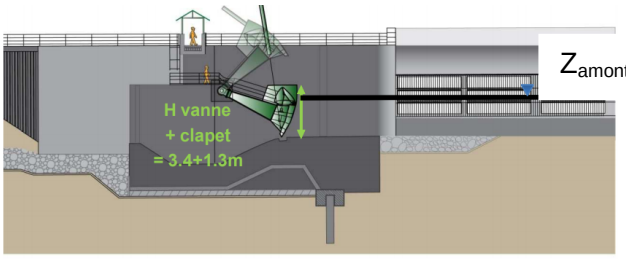
Document technique DT4 : la Romanche.

C'est une rivière superbe ; on y pêche la truite fario et le saumon de fontaine depuis les sources dans un décor fabuleux : Col du Lautaret, hauts sommets et Glacier de la Meije à proximité.

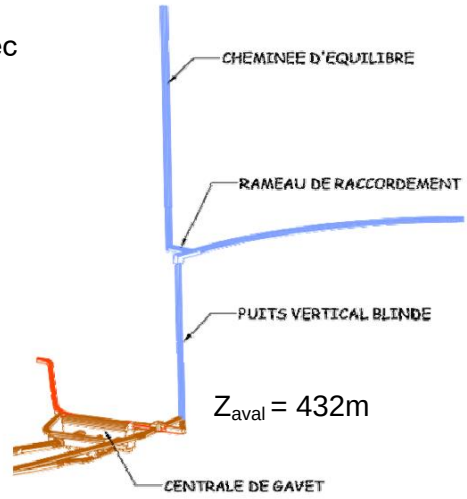
Rapidement, sous le village de Villar d'Arêne, la Romanche devient puissante. Les postes et contre-courants sont bien marqués. La pêche y est très rapide où il faut être vif et très attentif sous peine de nombreux ratés passant souvent inaperçus.

Document technique DT5 : barrage et ouvrages d'amenée.

- Barrage mobile en rivière muni de 3 voies de 10m
- Chaque voie est équipée d'une vanne secteur avec clapet supérieur
- Largeur totale : 43,7 m
- Hauteur sur fondation : 13,5 m
- Volume de la retenue : environ 200000 m^3



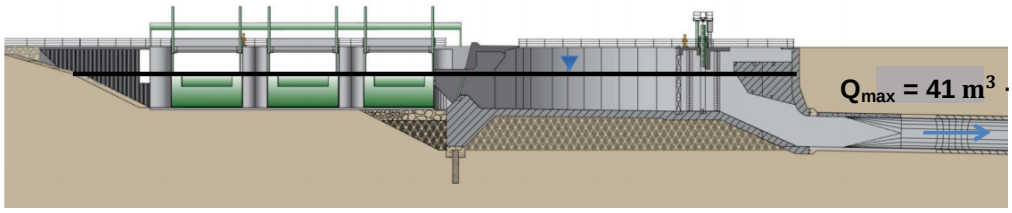
Z_{amont} = 705m



Z_{aval} = 432m

Document technique DT6 : prise d'eau.

- Largeur totale : 29 m ;
- 4 voies de 6 m de large, équipées de grilles ;
- hauteur de voile : 9 m ;
- ouvrage de mise en charge surmonté d'un antivortex

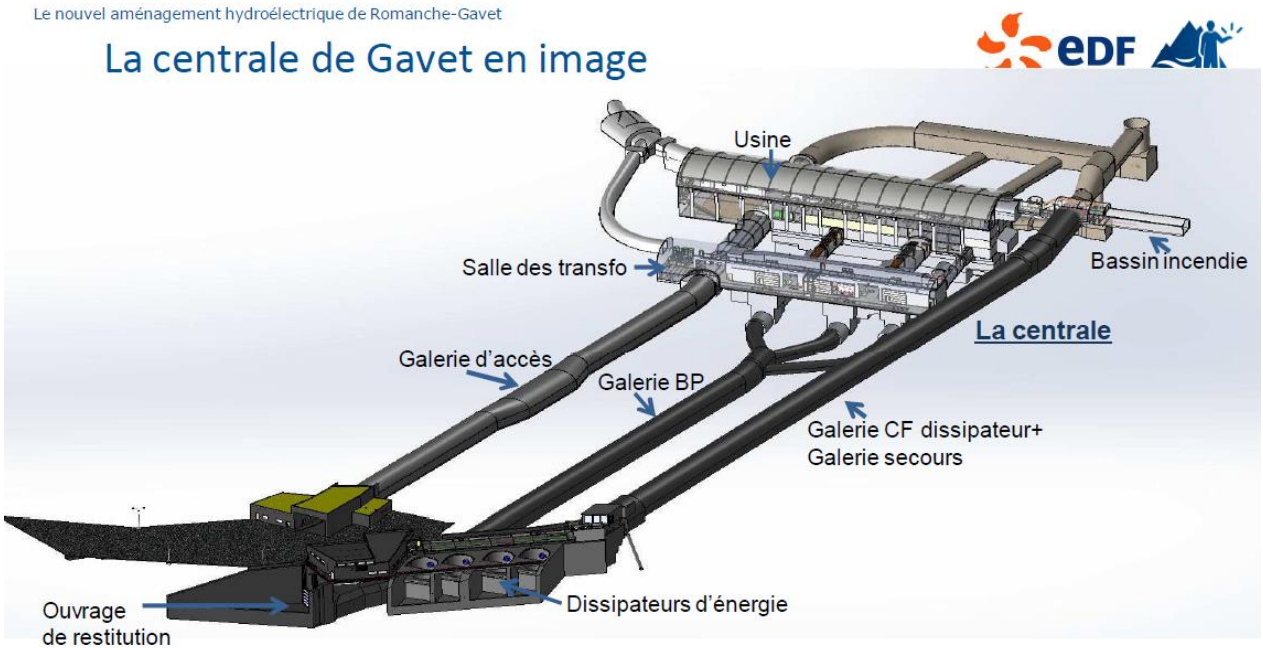


$Q_{max} = 41\ m^3 \cdot s^{-1}$

Document technique DT7 : différents types de passes à poissons.

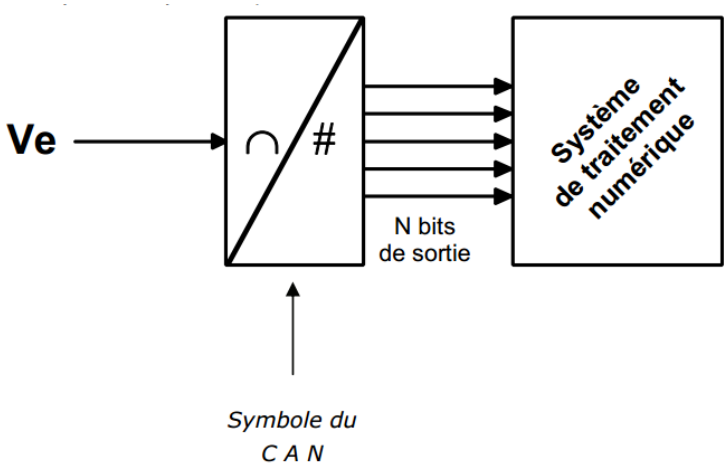
Passe à bassins successifs	Passe à ralentisseurs	Les écluses et ascenseurs	Passe dite rivière artificielle
Cette passe à poissons ressemble à un escalier : la hauteur à franchir pour le poisson est divisée en plusieurs petites chutes qui communiquent entre elles par des échancrures. Cette solution est la plus appropriée quand plusieurs espèces de poissons migratrices sont présentes.	Dans un canal rectiligne à forte pente, des déflecteurs de forme plus ou moins complexes sont mis en place pour assurer une forte réduction des vitesses d'écoulement. Ce type de passe est assez sélective, et convient mieux aux poissons de grandes tailles (saumons, truites de mer).	L'écluse à poissons fonctionne selon le même principe que celui d'une écluse de navigation. Les migrateurs sont piégés dans un sas puis éclusés dans la rivière. Un ascenseur à poisson consiste à piéger le poisson dans une cuve au pied de l'obstacle et à le déverser directement dans la retenue en amont.	Ce type de passe crée un chenal dans l'une des rives. Elle essaye de reconstituer les conditions d'un cours d'eau naturel. Cette passe est la plus intéressante pour le paysage et pour les espèces aquatiques. Les inconvénients de ce type de passe est son coût élevé dû à sa longueur importante pour maintenir une faible pente.

Document technique DT8 : centrale aval.



Document technique DT9

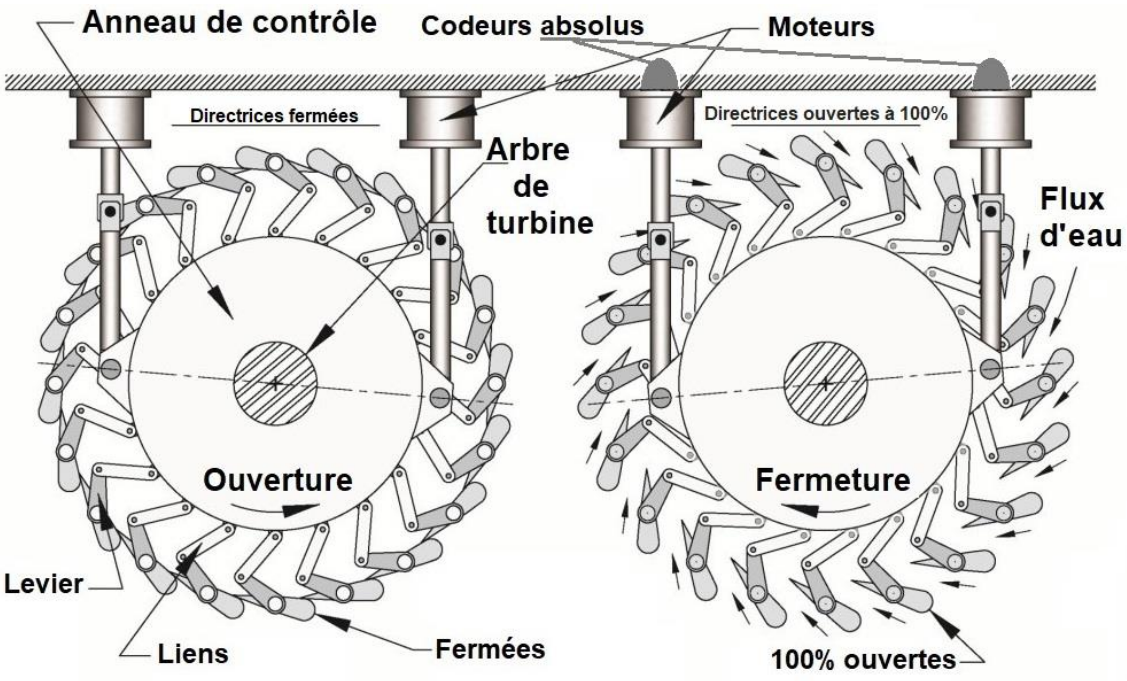
Convertisseur Analogique / Numérique :



Quantum :

$$q = \frac{\text{Valeur pleine échelle}}{2^{\text{Nombre de bits}}} = \frac{\text{Valeur Max - Valeur Min}}{2^{\text{Nombre de bits}}}$$

Régulation du flux d'eau par orientation des aubes directrices :



Document technique DT10 : fiche technique du codeur absolu.

BEI SENSORS

MHM5

CE

CODEURS ABSOLUS MULTI-TOURS CANOPEN, SERIE MHM510-CANO

CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES

Interface	Suivant ISO 11898
Transmission	Max 1 MBauds
Adressage	Par switchs rotatifs
Alimentation	10 – 30Vdc
Consommation	max 100mA (24Vdc)

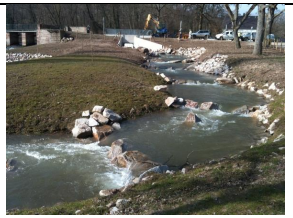
Puissance	max 2,5W
Fréquence sur le LSB	800 kHz
Précision	+ ½ LSB
CEM	EN 61000-6-4 EN 61000-6-2
Durée de vie électrique	> 10^5 h

Description :

MHM510-CANO, le codeur standard Ø58mm à transmission CANOPEN :

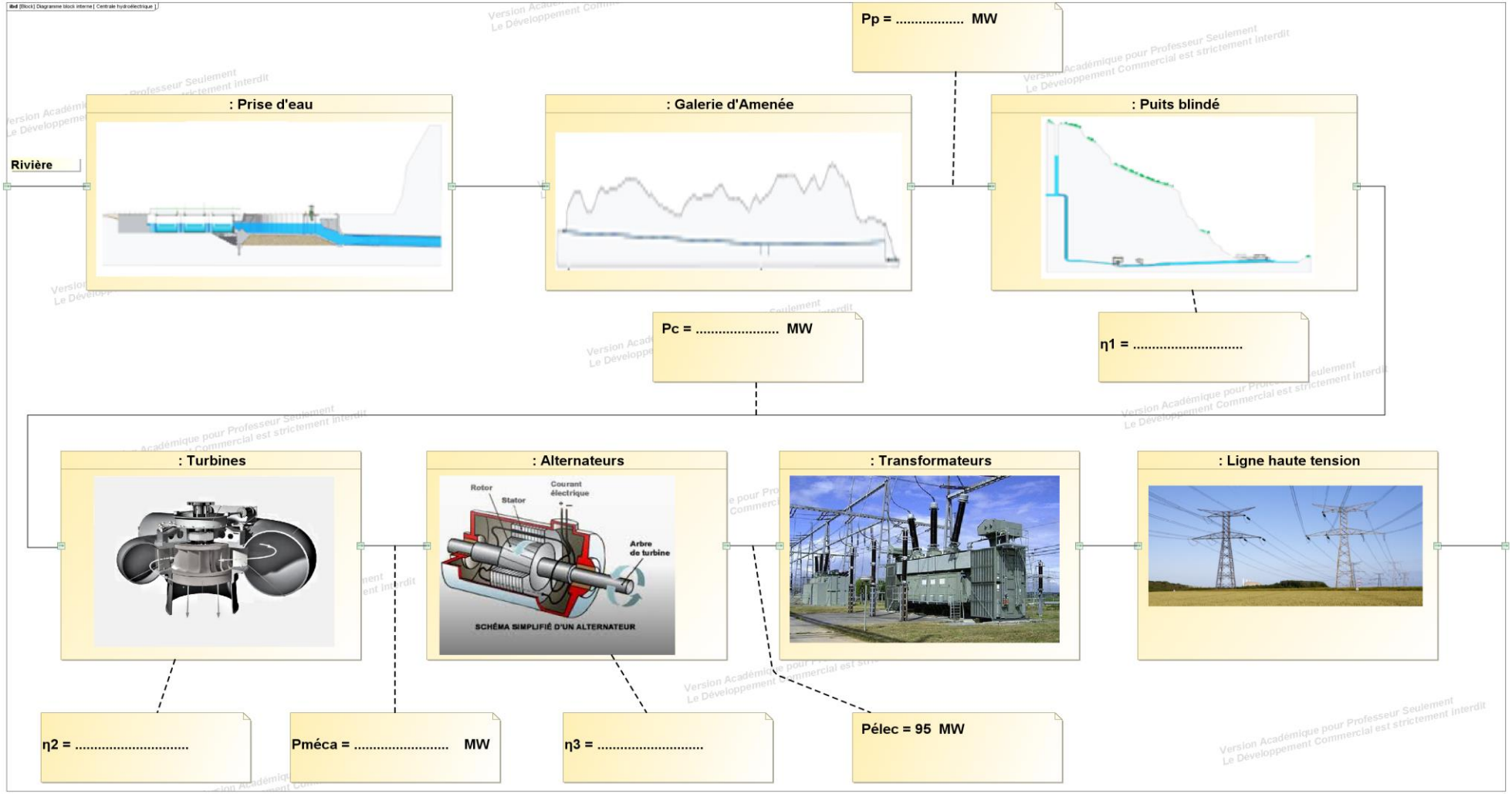
- Conception compacte et robuste.
- Version axe sortant Ø 10 mm (6mm disponible en option).
- Roulement de précision avec joint d'étanchéité.
- Hautes performances en température –40°C à 85°C.
- Disque codé en matériau indéformable et incassable.
- Mémorisation mécanique du nombre de tours par pignonerie.
- Nombre de points par tour (bits) : 13 bits=> 2^{13} = 8192 pts / tour.
- Nombre de tours : 12 bits=4096 tours (max 14bits).
- Protection contre les inversions de polarité et les pics de tension.
- Technologie CMS à haute intégration.
- Également disponible en version SSI, Profibus et DeviceNet.

DOCUMENT RÉPONSE DR1

	Passe à bassins successifs	**Passe à ralentisseurs**	**Les écluses et ascenseurs**	**Passe dite rivière artificielle**
Mettre +1 si le critère est respecté, sinon indiquer -1				
Permettre la remontée de toute les espèces aquatiques	+1	-1	+1	+1
Permettre la remontée des poissons migrants				
Impact visuel				
Maintenance	+1	+1	-1	+1
Coût	+1	+1	-1	-2
Espace occupé	+1	+1	+2	-1
TOTAL				

Conclusion :

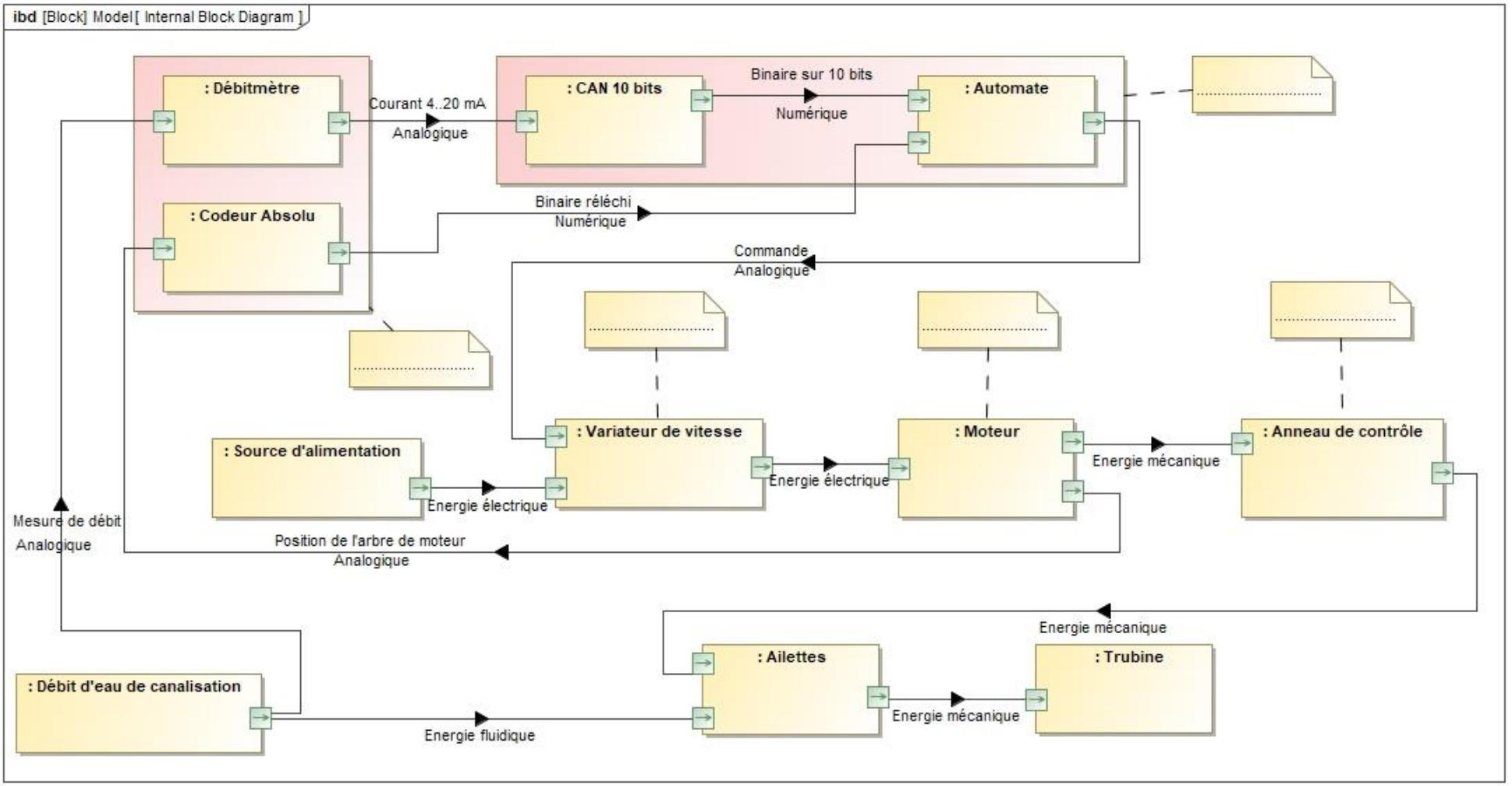
DOCUMENT RÉPONSE DR2



DOCUMENT RÉPONSE DR3

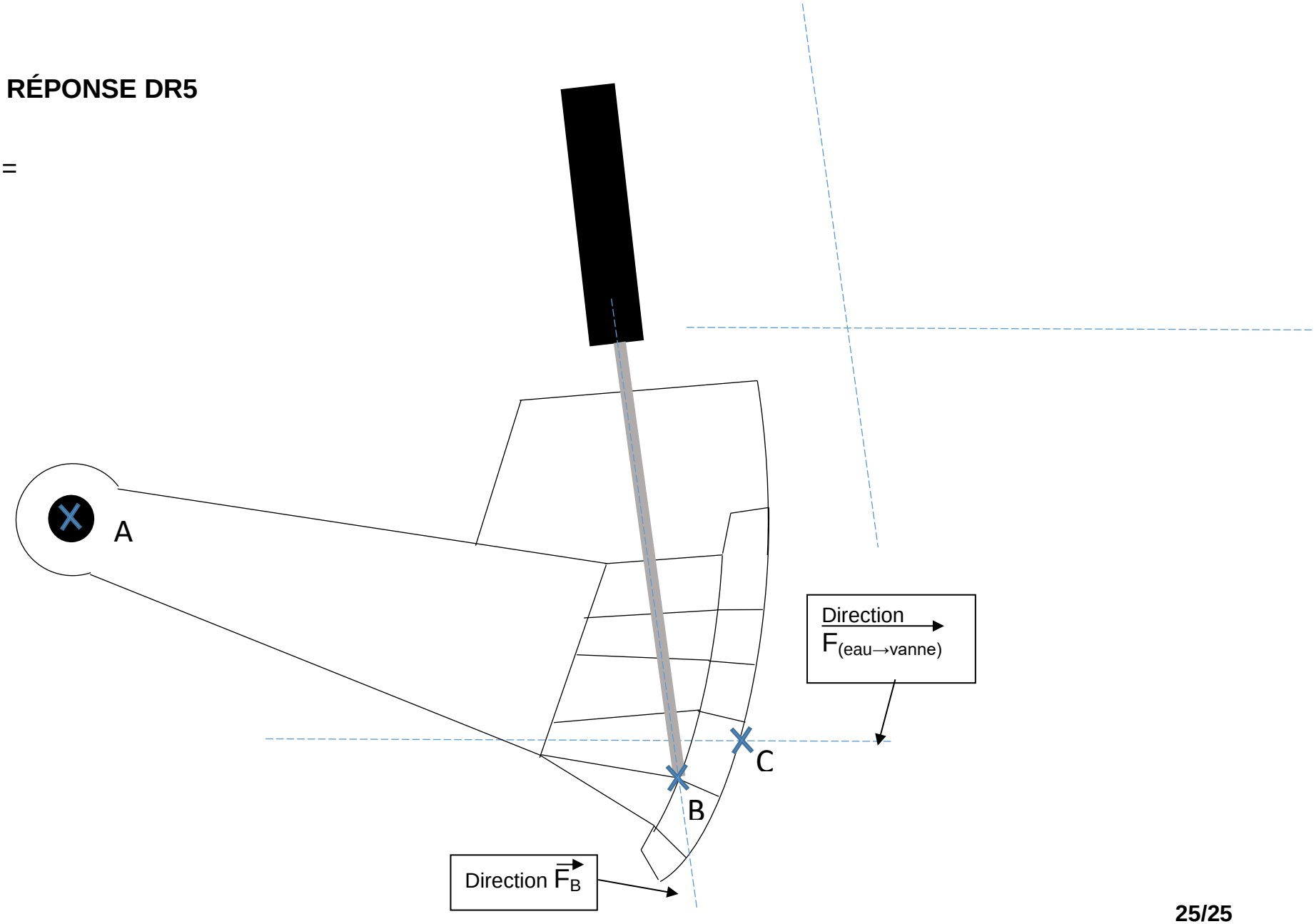
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Débit ($m^3 \cdot s^{-1}$)	13	15	18	29					39	24	22	17
Chute (m)												
P_P Puissance hydraulique (MW)	34,82	40,17	48,21	77,67					104,45	64	59	46
Rendement centrale												
Puissance centrale (MW)	29,83	34,42	41,30	66,54					89,48	55	50	39
Énergie mensuelle de la Centrale (MWh)	21 476	24 779	29 735	47 907					64 427	39 647	36 343	28 083
Énergie annuelle de la centrale (MWh)												

DOCUMENT RÉPONSE DR4



DOCUMENT RÉPONSE DR5

$\|\overrightarrow{F_{(eau \rightarrow vanne)}}\| =$

$\|\overrightarrow{F_A}\| =$

$\|\overrightarrow{F_B}\| =$