

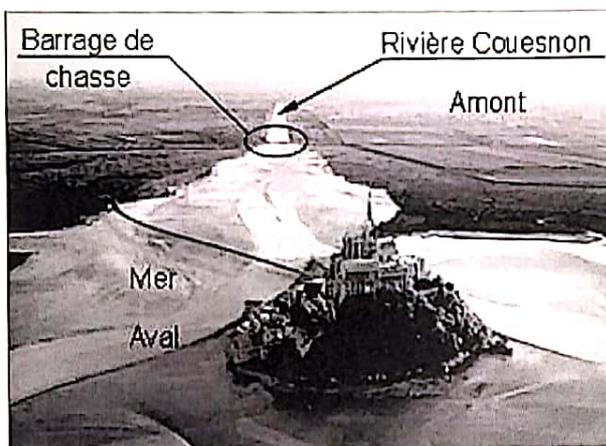
Sciences Industrielles pour l'Ingénieur

TD - Analyse des systèmes complexes

Rétablissement du caractère maritime du Mont Saint-Michel

Objectifs :

Identifier le besoin et les exigences, connaître et lire les différents diagrammes du langage SysML, justifier le choix de différents composants.



Le Mont-Saint-Michel est un monument classé au patrimoine mondial de l'humanité. La construction d'une digue route en 1879 a provoqué, au fil du temps, une accélération de l'ensablement naturel de la baie: le Mont pourrait cesser d'être une île. Le Couesnon (rivière séparant la Bretagne de la Normandie) qui se jette dans la baie du Mont, sert de réserve d'eau douce en été et évite l'inondation de Pontorson, ville située sur le Couesnon à 9 km en amont du Mont-Saint-Michel.

Une modélisation numérique hydrosédimentaire réalisée par le laboratoire de la société Sogreah entre 2008 et 2011 a montré qu'à l'horizon 2040 le Mont-Saint-Michel s'ensablera irrémédiablement et sera entouré de prés salés. Afin d'agir sur les transports sédimentaires, il a été décidé de canaliser le Couesnon et de construire un barrage de chasse d'une contenance de 700 000 m³ d'eau qui sera équipé d'échelles à poissons (l'écosystème doit être préservé).

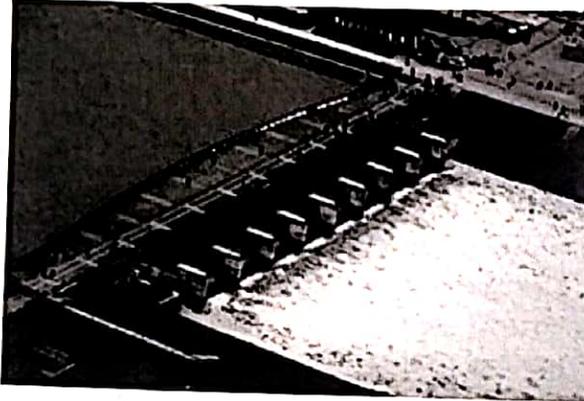
Ce projet dit « rétablissement du caractère maritime du Mont Saint-Michel » comprend de nombreux aménagements et travaux, dont celui du barrage de chasse. Grâce aux forces conjuguées de la mer, du Couesnon et du nouveau barrage, les sédiments seront évacués au large du Mont-Saint-Michel par un effet de chasse rendu possible grâce à l'accumulation d'une grande quantité d'eau retenue par le barrage à chaque marée haute et vidée rapidement dans la baie à chaque marée basse. Après la mise en fonction de l'ouvrage, il faudra plusieurs années, marée après marée, pour débayer les millions de mètres cube de sédiments accumulés et abaisser progressivement le niveau des grèves.



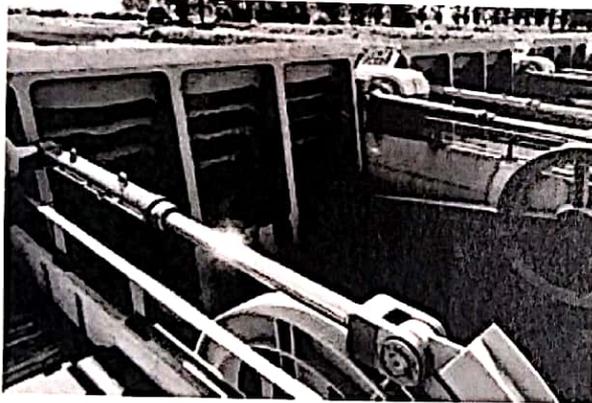
L'originalité de ce barrage réside dans son mode de fonctionnement. Les vannes laissent entrer l'eau de la marée haute dans la rivière Couesnon pour constituer une réserve qui sera libérée dans le lit de la rivière et la baie du Mont-Saint-Michel à marée basse.

Cet ouvrage est constitué :

- d'une série de huit passes principales de neuf mètres de largeur; ces huit passes identiques reçoivent le même équipement de vannes secteurs mobiles, actionnées en fonction de la marée pour permettre l'évacuation progressive des sédiments accumulés;
- de deux écluses à poissons (*non étudiées dans le sujet*);
- de deux culées de raccordement aux rives servant au logement de l'ensemble du matériel électrique, hydromécanique et hydraulique nécessaire à la commande des vannes mobiles, ainsi qu'au logement du matériel de contrôle, d'asservissement et de télégestion.



Les huit vannes permettent de réguler les flux de marée et de créer un effet de chasse. Les photos ci-contre montrent le principe retenu au niveau des vannes.

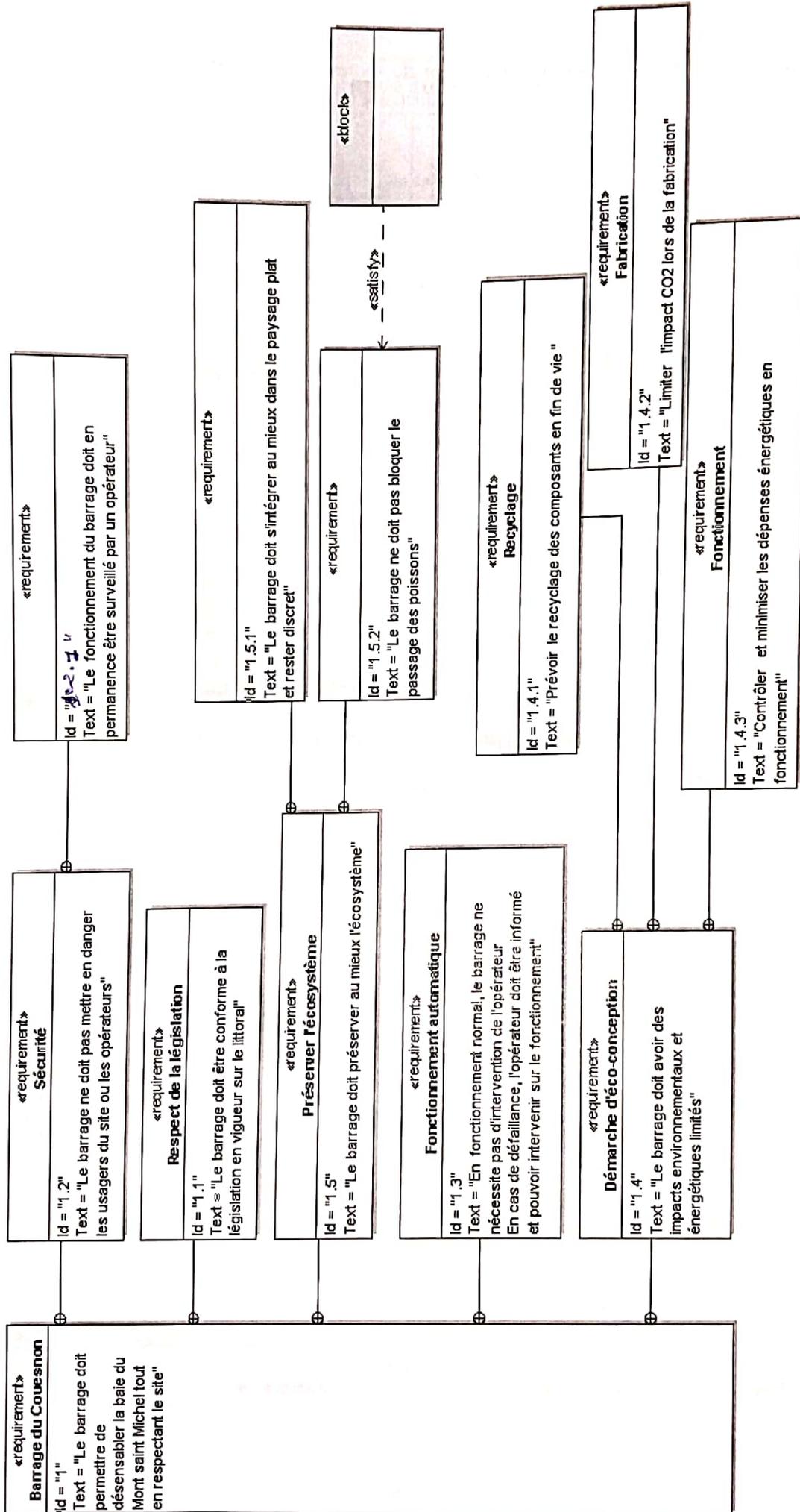


1. Description fonctionnelle du barrage

Le diagramme des exigences ci-dessous expose les différentes contraintes auxquelles devra répondre le barrage. C'est le point de départ de la conception du système.

Ce diagramme présente des exigences générales, lors de la suite de la conception, il sera complété par un ou plusieurs diagrammes permettant de traduire des exigences plus précises (exigences fonctionnelles, techniques, économiques, environnementales, ...).

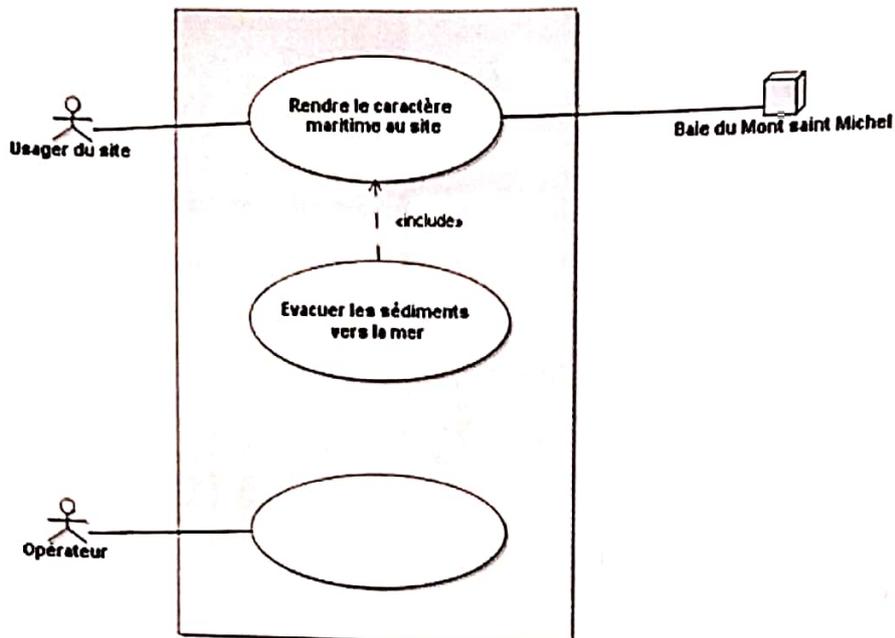
Diagramme des exigences partiel du barrage sur le Couesnon :



Qu.1 : Compléter le bloc vide de ce diagramme des exigences.

Le diagramme des cas d'utilisation du barrage du Couesnon est donné ci-dessous. Il présente les principaux cas d'utilisation du barrage et les principaux intervenants lors de la phase « utilisation » du cycle de vie du barrage.

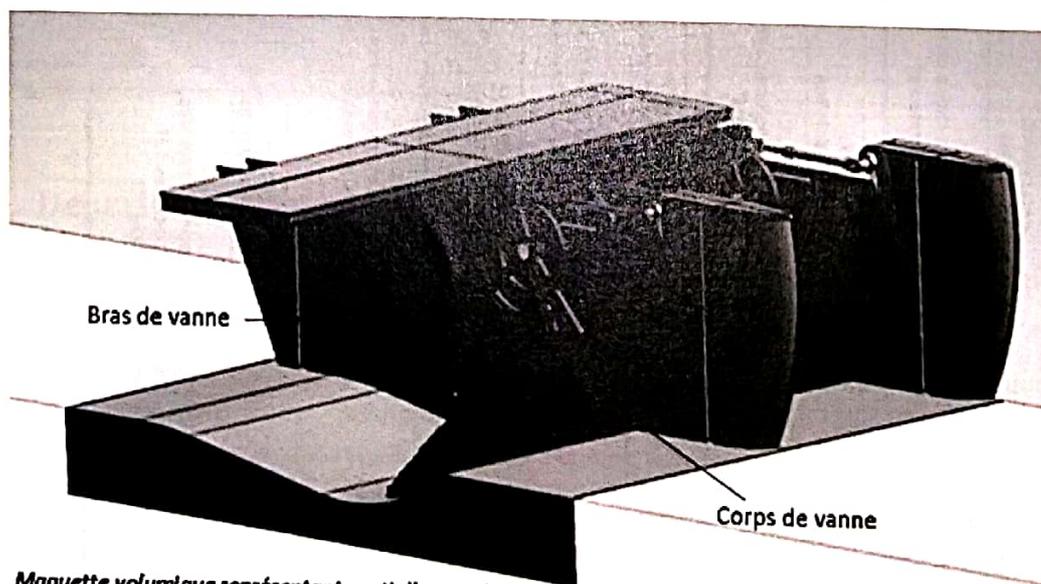
Diagramme des cas d'utilisation :



Qu. 2.: Compléter l'action manquante sur ce diagramme (en phase d'utilisation).

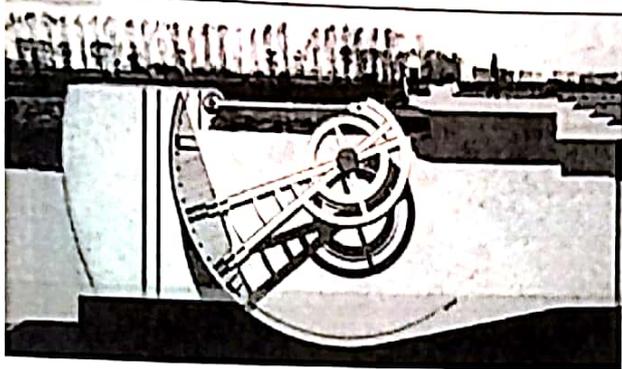
2. Description du fonctionnement et justification du principe de vanne retenu

La maquette volumique suivante présente partiellement l'architecture du barrage et de deux vannes. Le fonctionnement du barrage sur un cycle de marée est décrit dans le tableau qui suit.

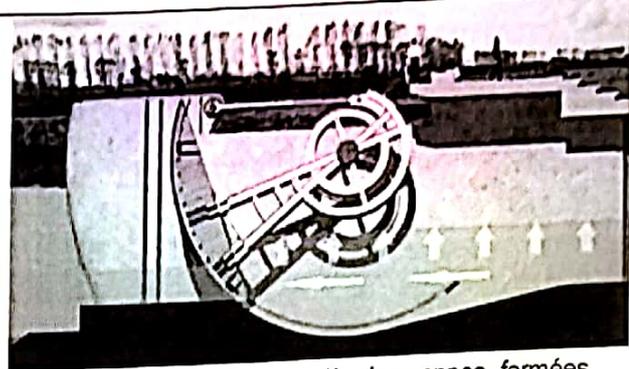


Maquette volumique représentant partiellement le barrage et deux vannes

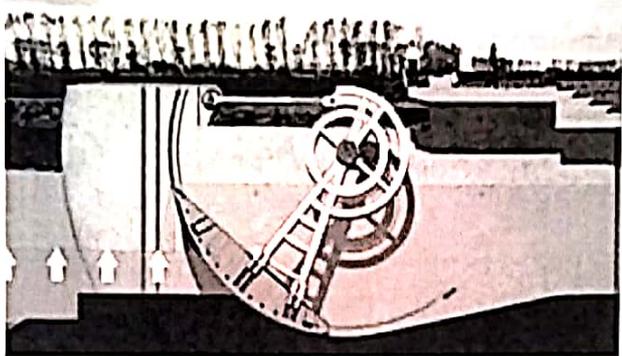
Phases de fonctionnement du barrage sur un cycle de marée d'environ 12h30



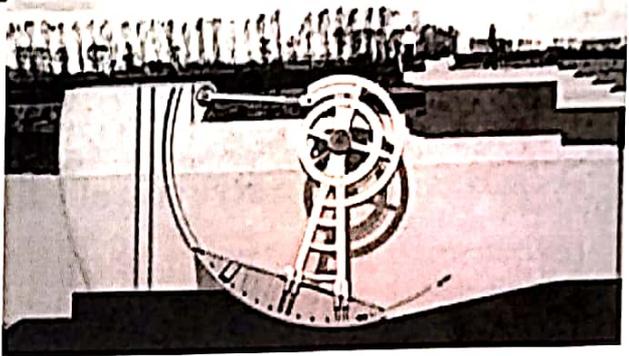
1) Marée basse : vannes secteur fermées



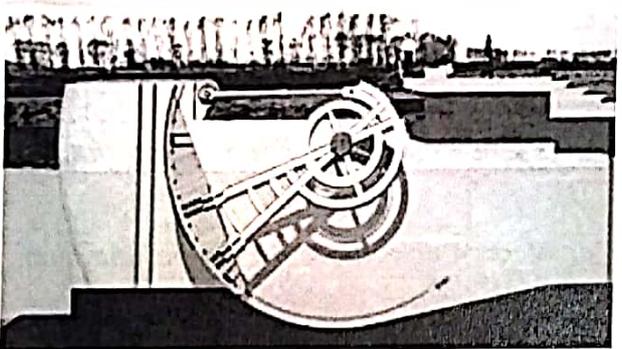
2) Heure marée haute - 1h : les vannes fermées retiennent les sédiments du côté mer du barrage



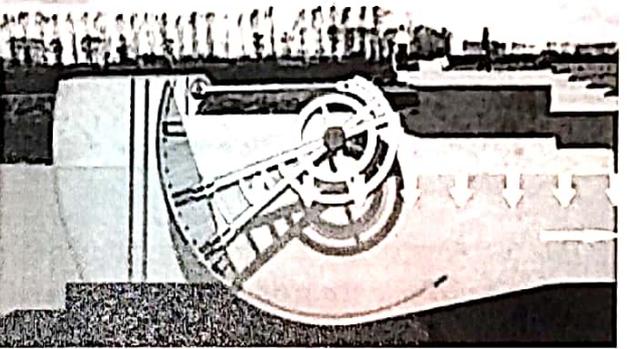
3) Pleine mer - 10 min : ouverture des vannes en « sur verse » pour remplir la rivière d'une eau sans alluvion



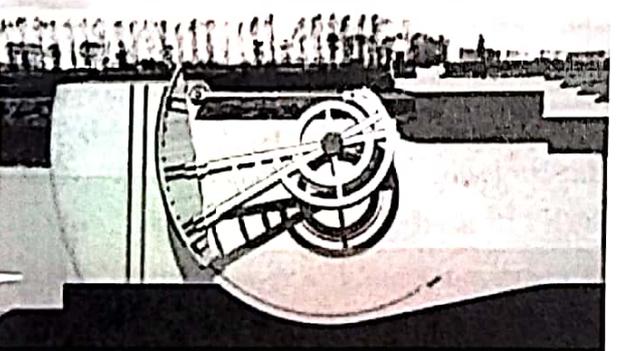
4) Pleine mer : ouverture complète des vannes le temps nécessaire au remplissage du Couesnon



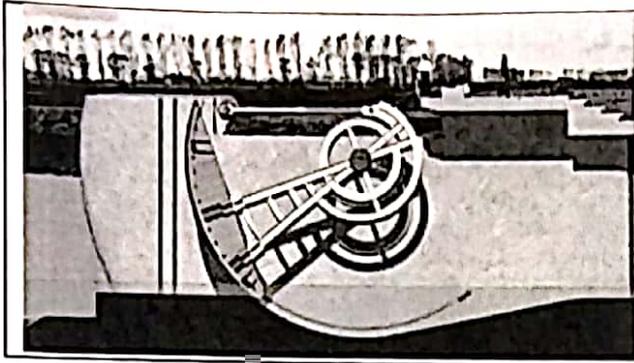
5) Pleine mer + 1h 40 : fermeture complète des vannes pour stocker l'eau du Couesnon



6) Marée descendante : stockage de l'eau du Couesnon, retrait de la mer et dépôts d'alluvions



7) Marée haute + 6h : ouverture des vannes en « sous verse », effet de chasse des eaux du Couesnon libérées et élimination des alluvions de la baie



8) Marée basse et reprise du cycle de marée haute après la phase d'effet de chasse et reprise du cycle de fonctionnement

Qu. 3. : À partir du diagramme des exigences et du cycle de fonctionnement décrit ci-dessus, analyser et compléter le document DREP1 en justifiant succinctement le choix des ingénieurs, qui ont retenu le principe de vannes secteur.

Qu. 4. : À partir de la description du cycle de fonctionnement du barrage, compléter le diagramme du document DREP2. Pour chaque ouverture ou fermeture de la vanne, préciser le sens de rotation de cette dernière.

3. Description structurelle du barrage

Les diagrammes présentés sur les documents réponse DREP3 et DREP4 proposent une modélisation structurelle du barrage :

- DREP3: Diagramme de définition de blocs du barrage complet (bdd : block definition diagram)
- DREP4: Diagramme de bloc interne de la vanne (ibd : internal block diagram)

Le diagramme de bloc interne ne représente qu'une sous-partie du système présenté dans le diagramme de définition de blocs. Ces deux diagrammes sont volontairement incomplets. Il s'agit dans cette partie de les compléter.

Qu. 5. : Compléter le diagramme de définition de blocs afin d'y indiquer le nombre de vannes présentes sur le barrage.

Qu. 6. : Ajouter sur le diagramme de définition de blocs le nom des deux composants non renseignés faisant partie du groupe électrohydraulique.

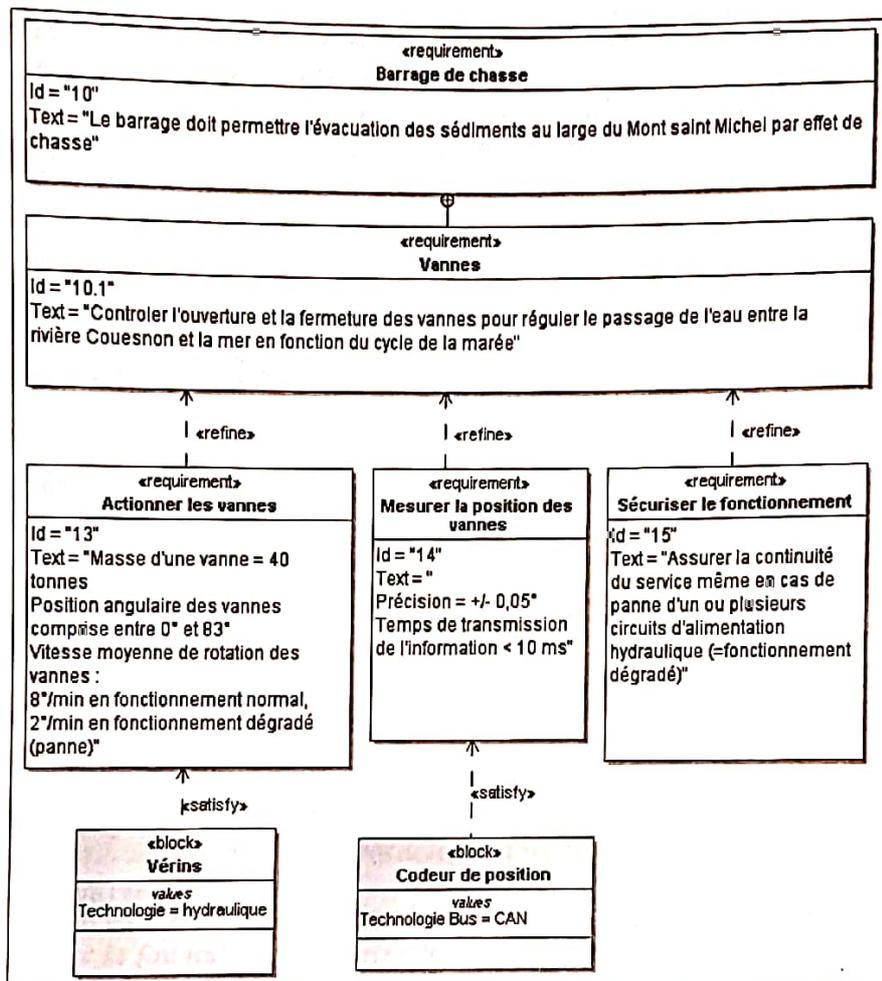
Qu. 7. : À partir de la lecture de ces diagrammes, préciser quelles sont les technologies retenues pour les composants suivants : vérin, pompe, moteur.

Qu. 8. : À partir des réponses à la question précédente, compléter la description des flux entre les différents composants sur le diagramme de bloc interne.

Qu. 9. : Sur le diagramme de bloc interne, les flux modélisés par un trait épais représentent un flux d'énergie. À partir de la lecture du diagramme donné sur le document DREP4, préciser quel est le type de flux modélisé par un trait fin.

4. Dimensionnement des vérins

Le bureau d'étude doit déterminer quel sera le type de vérin nécessaire pour le pilotage des vannes du barrage. Pour cela, un diagramme des exigences plus précis a été réalisé par les concepteurs. Ce diagramme (proposé ci-dessous) regroupe les contraintes liées au bon fonctionnement du barrage. Ces contraintes vont nous permettre de déterminer les caractéristiques des vérins, à savoir la course, la vitesse de translation de la tige et les efforts à transmettre.



a) Détermination de la course du vérin

Le document DREP5 propose les plans à l'échelle 1:100 de la vanne dans les positions extrêmes.

Qu. 10.: Mesurer et calculer la course du vérin grâce aux positions extrêmes de la vanne (le vérin est le composant situé entre les points A et B)

b) Détermination de la vitesse de translation de la tige du vérin

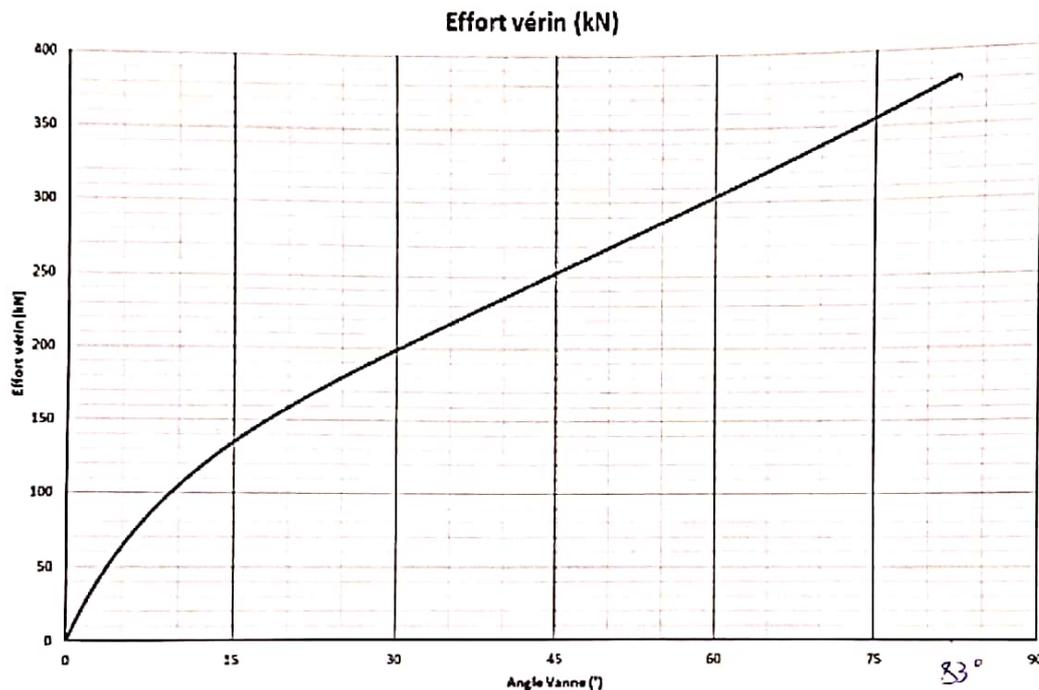
Qu. 11.: Déterminer la vitesse moyenne de translation de la tige de vérin en fonctionnement normal, exprimée en $m.s^{-1}$.

c) Détermination des efforts dans un vérin

Pour déterminer les efforts dans le vérin, le bureau d'étude pose les hypothèses simplificatrices suivantes :

- frottements négligés dans la liaison pivot entre la vanne et la structure de l'ouvrage,
- efforts hydrostatiques négligés,
- efforts hydrodynamiques négligés (justifié par des mouvements lents),
- efforts répartis de façon identique sur chacun des 2 vérins.

Une étude sur une maquette numérique a permis au bureau d'étude de tracer la courbe d'effort dans l'un des deux vérins en fonction de l'angle de rotation de la vanne. Cette courbe est présentée ci-dessous.



Qu. 12.: Relever sur la courbe d'effort la valeur maximale de l'effort dans le vérin.

d) Choix d'un vérin

Le bureau d'étude propose de retenir le type de vérin dont les caractéristiques sont les suivantes :

Course maximale du vérin	2500	mm	$\lambda 212 \text{ m}$
Diamètre du piston du vérin	250	mm	
Rendement du vérin hydraulique	90	%	
Vitesse maximale de translation de la tige	10	mm.s ⁻¹	$> 3,5 \text{ mm.s}^{-1}$
Effort maximal en tirant	400	kN	
Effort maximal en poussant	1120	kN	
Pression de travail admissible	230	MPa	

La distinction est due à la différence de pression (l'effort dépend de la pression)

Qu. 13.: Vérifier que le vérin choisi correspond bien aux contraintes imposées par le diagramme des exigences.

Qu. 14.: En utilisant le résultat des questions précédentes, calculer la pression d'huile nécessaire pour déplacer la vanne dans le cas le plus défavorable et contrôler le bon dimensionnement du vérin en termes de pression.

En première approximation, on admet que la vitesse moyenne de translation de la tige du vérin peut être considérée comme constante tout au long de son déplacement.

Qu. 15.: *Calculer la puissance théorique maximale nécessaire au déplacement d'une vanne.*

5. Dimensionnement des groupes hydrauliques

Pour des raisons de sécurité liées à la continuité du service, le bureau d'étude a fait le choix d'alimenter les 16 vérins des 8 vannes par 4 circuits de puissance identiques pouvant être inter connectés en cas de défaillance.

Ainsi, dans la situation la plus défavorable où 3 groupes sur 4 seraient défaillants, un seul des 4 groupes hydrauliques doit pouvoir assurer l'ouverture de toutes les vannes. Dans ce cas, le fonctionnement est dégradé.

Qu. 16.: *Quelle est la conséquence du fonctionnement en mode dégradé sur les performances du système?*

Qu. 17.: *Calculer la puissance théorique maximale nécessaire pour ouvrir les vannes en utilisant un seul groupe hydraulique (cas le plus critique d'une défaillance des trois autres groupes).*

Les caractéristiques du groupe hydraulique sont les suivantes :

Rendement de la pompe	90	%
Puissance maximale	15	kW

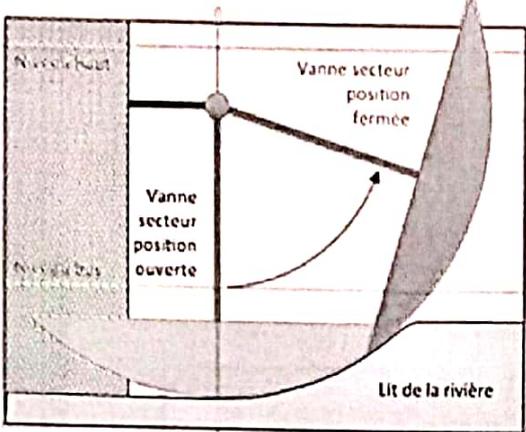
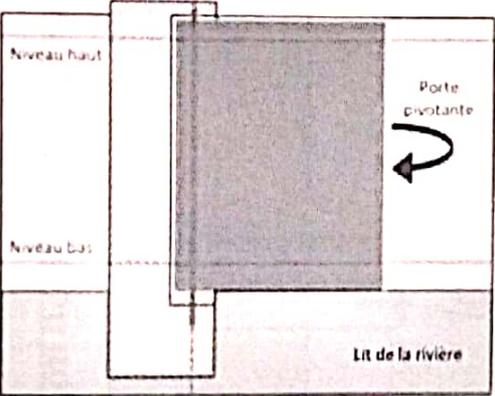
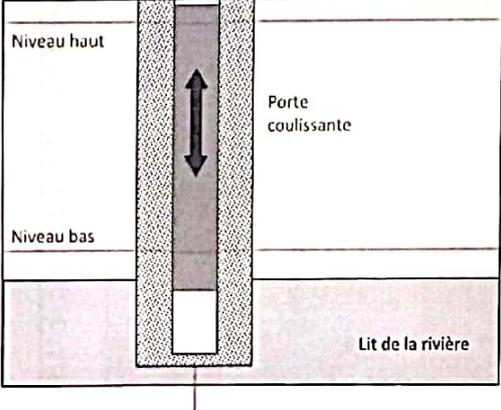
Qu. 18.: *Conclure vis à vis du bon dimensionnement des groupes hydrauliques.*

Le schéma du document DREP6 représente le principe de base du circuit hydraulique de puissance du vérin d'une vanne.

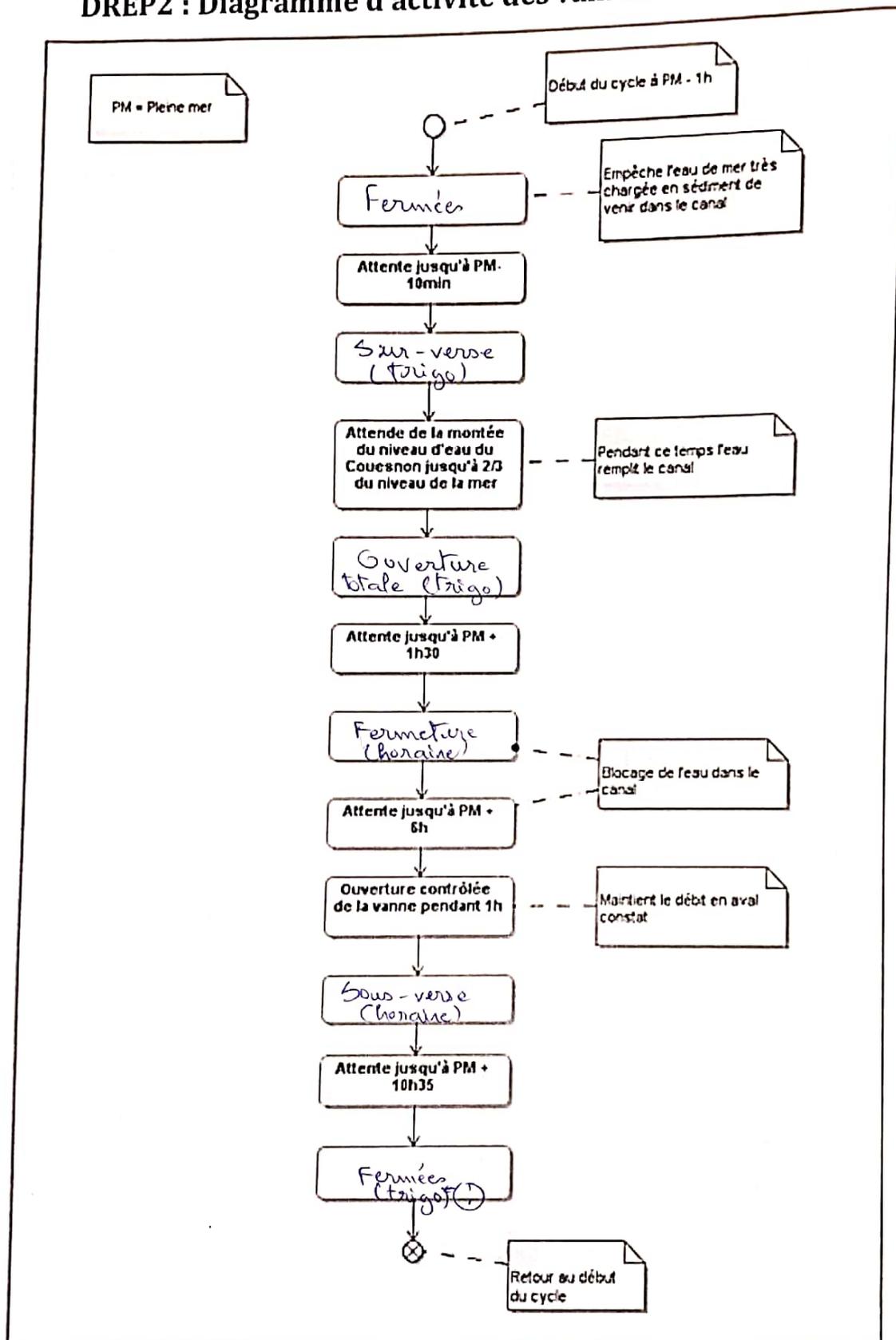
Qu. 19.: *Sur le schéma hydraulique de ce document, identifier en le repassant en couleur, le circuit haute pression d'alimentation du vérin lors de la sortie de tige ainsi que, dans une autre couleur, le circuit de retour au réservoir.*

Qu. 20.: *Identifier la (ou les) commande(s) devant être alimentée(s) pour faire sortir la tige du vérin.*

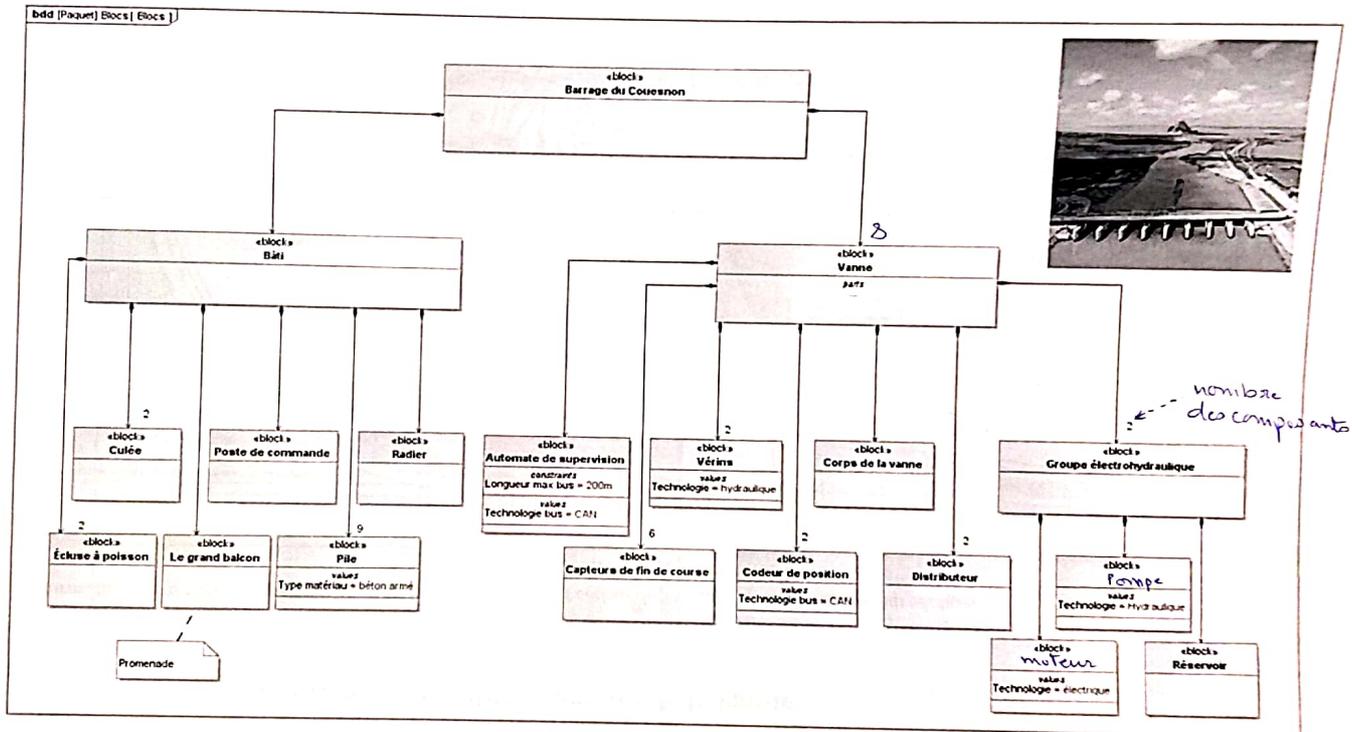
DREP1 : Différents types de vannes envisagés

Principes de vanne envisageables	Analyse des solutions : avantages, inconvénients
	<p>Solution 1 par vanne secteur :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Permet l'ouverture et le passage de l'eau par le bas de la vanne en « sous verse » ou par le dessus de la vanne en « sur verse ». • Libère totalement le chenal en position ouverte. • Vanne complètement intégrée au barrage, qui ne perturbe pas la vue sur la baie. • Mécanisme simple. • Mouvement de rotation de la vanne autour d'un pivot simple à obtenir et simple à piloter. • Position normalement ouverte de la vanne en cas de panne de la motorisation (la vanne redescend sous l'action de son poids propre).
	<p>Solution 2 par porte pivotante :</p> <ul style="list-style-type: none"> - ne permet pas le fcti sous-verse, sur-verse.
	<p>Solution 3 par vanne coulissante :</p> <ul style="list-style-type: none"> • sous-verse, sur-verse possibles; <u>par contre</u>. • dégrade davantage l'environnement (esthétique) • plus difficile à manier et à fabriquer (mouvement de translation)

DREP2 : Diagramme d'activité des vannes



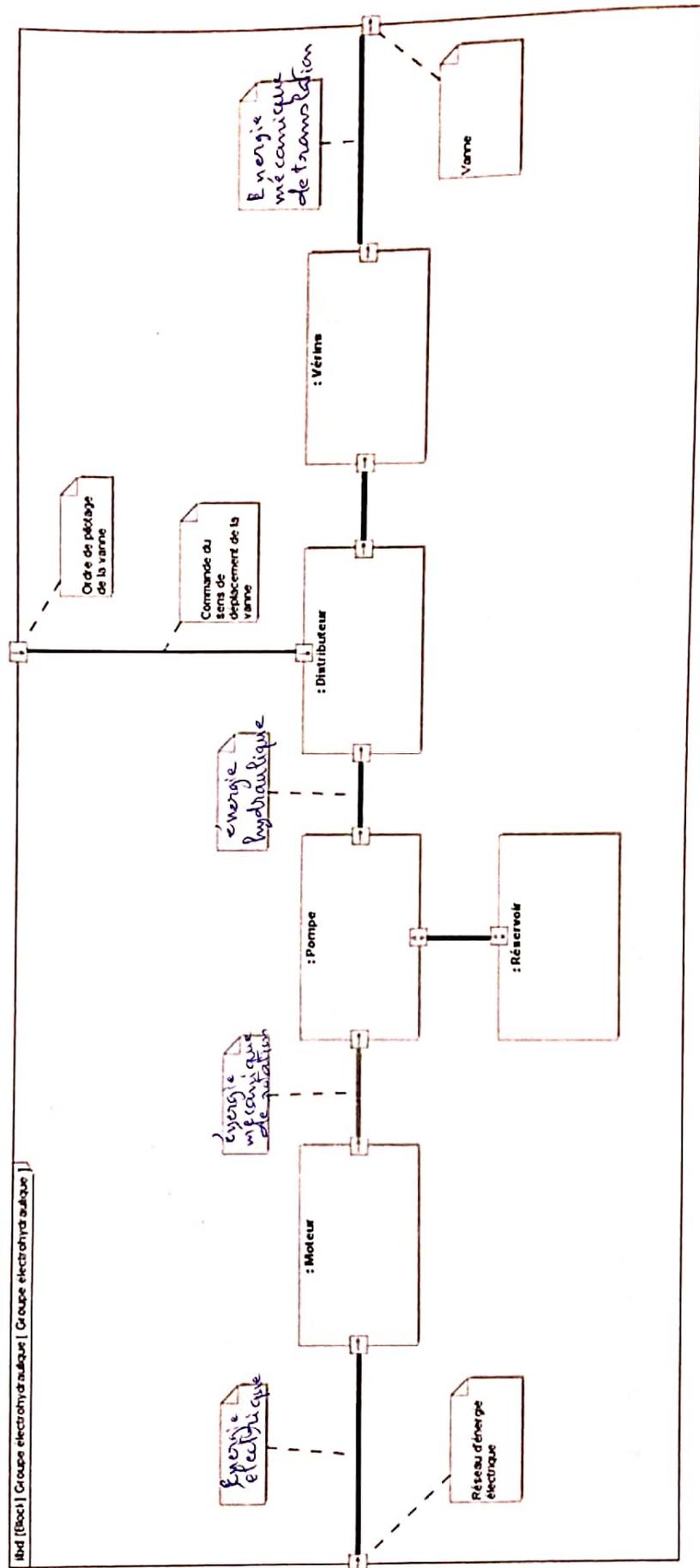
DREP3 : Diagramme de définition de blocs du barrage du Couesnon



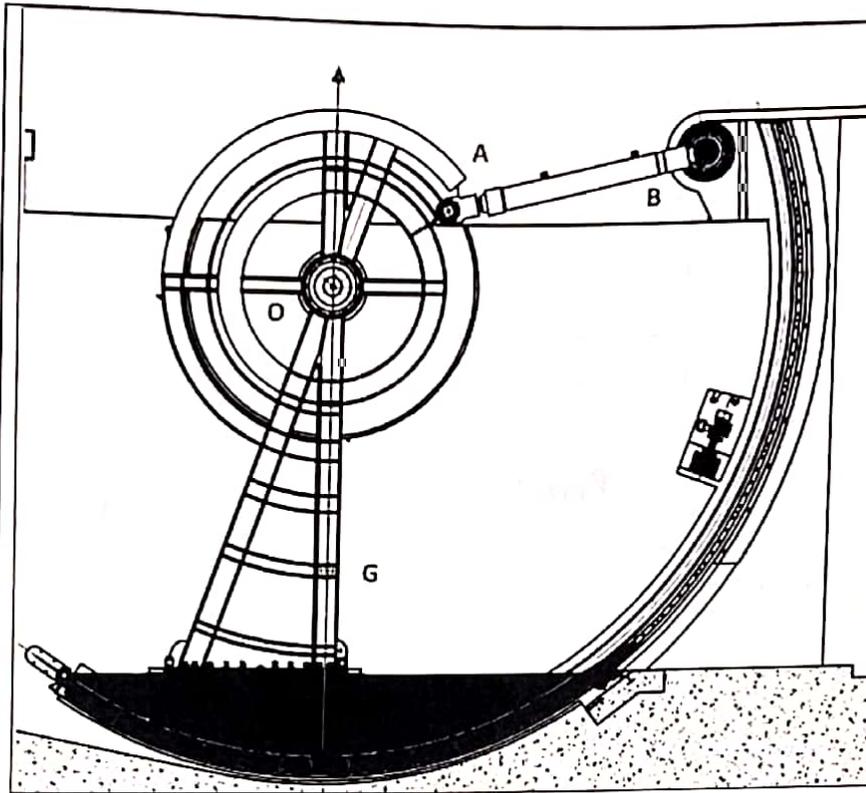
DREP4 : Diagramme de bloc interne partiel de la vanne

Remarque importante : sur ce diagramme, seuls les composants de la chaîne d'énergie de la vanne sont représentés. Les composants de la chaîne d'information (automate de supervision, capteurs de fin de course et codeur de position) sont volontairement négligés.

(1)

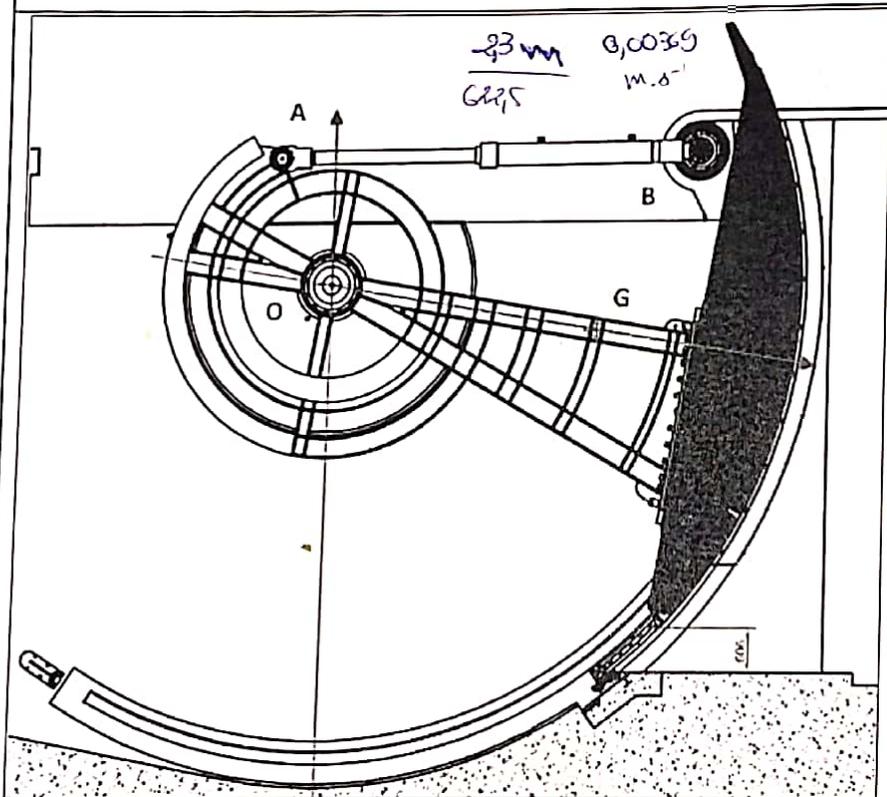


DREP5



Vanne en position ouverte

(échelle 1:100)

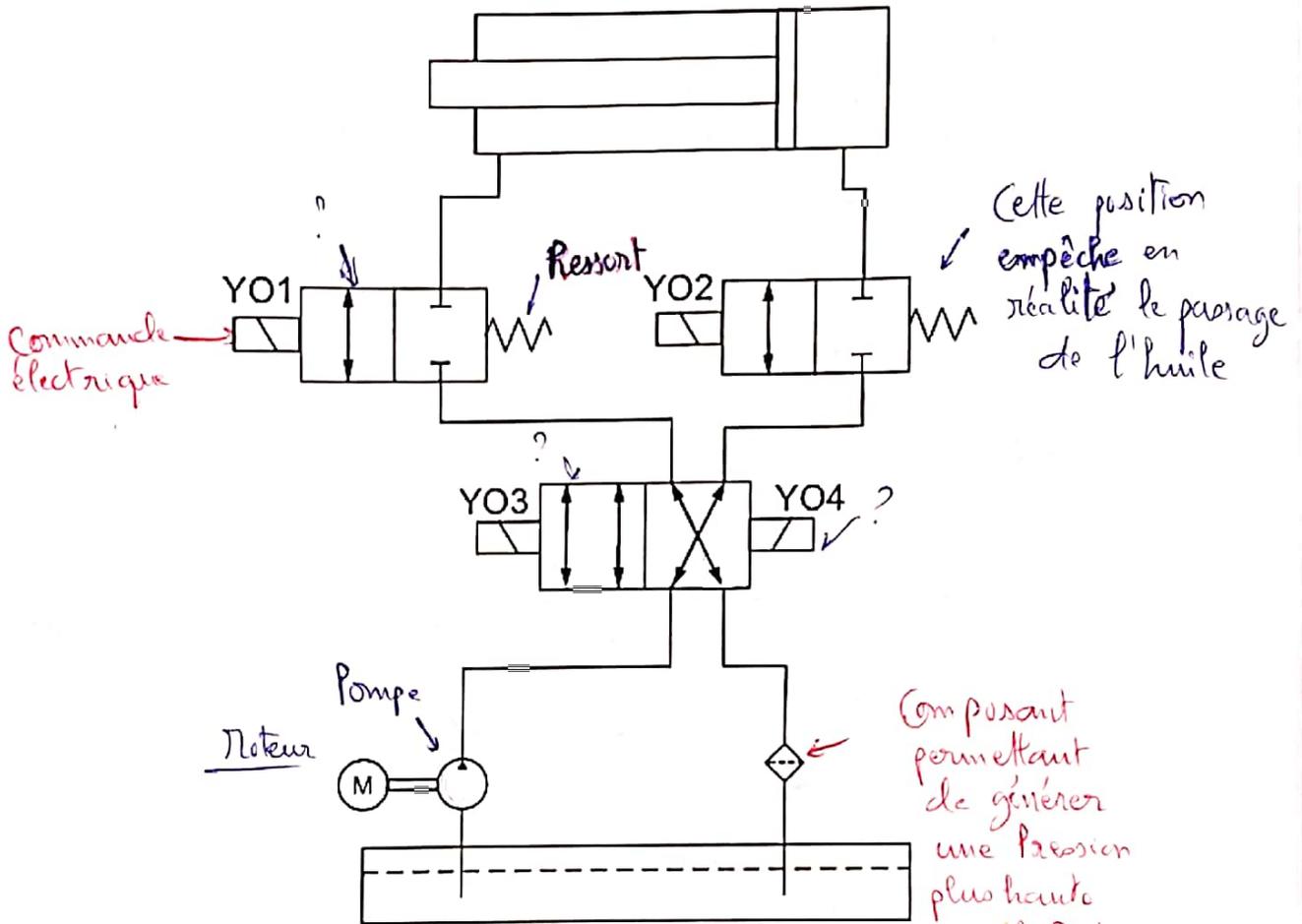


Vanne en position « sous-verse »

(échelle 1:100)

Course du vérin mesurée :

DREP6 : Circuit hydraulique



pour alimenter pouvoir activer le circuit haute pression, il faut que:

YO2, YO3, YO4 soient alimentés

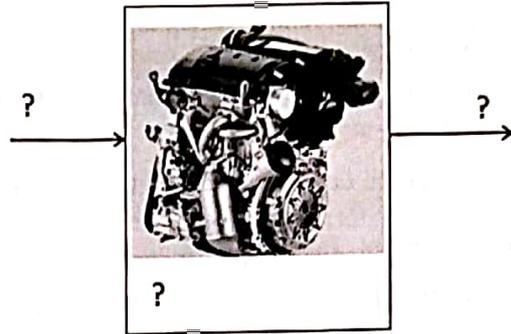
rien chose pour le circuit basse pression

Composant permettant de générer une pression plus haute que la P atm. pour empêcher la formation de bulles d'air

Le graphique de la figure 9 montre l'évolution du couple moteur (effort disponible en sortie pour un ensemble en rotation, unité : $N.m$) en fonction de la consommation. Ce tracé est obtenu expérimentalement (par mesure sur un moteur réel). Lors de l'expérience, le régime moteur est réglé à $2500 \text{ tour} \cdot \text{min}^{-1}$.

Qu. 5: comme précédemment, compléter le modèle ci-contre en y indiquant la grandeur d'entrée et son unité, la grandeur de sortie et son unité, puis l'équation reliant ces deux grandeurs.

! La force exercée par la route sur les roues est selon $(+x)$



3.5 L'ensemble {boîte de vitesse + roues}

La boîte de vitesse (cf. figure 10) diminue la vitesse de rotation du moteur (ω_m) avant de transmettre le mouvement aux roues (ω_R). Ceci a pour conséquence d'augmenter le couple transmissible dans la même proportion.

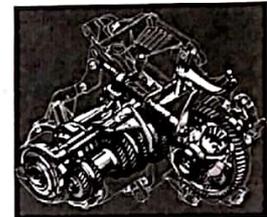


Fig. 10 : Boîte de vitesses manuelle

La rotation est transmise aux roues grâce aux arbres de transmission (cf. figure 11). Les roues adhèrent au sol et exercent un effort moteur F_{mot} .

Le comportement de ces composants sera étudié plus en détail au second semestre de cette année. En attendant, le modèle de comportement ci-dessous est donné et sera considéré comme admis :

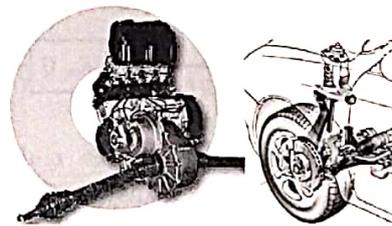
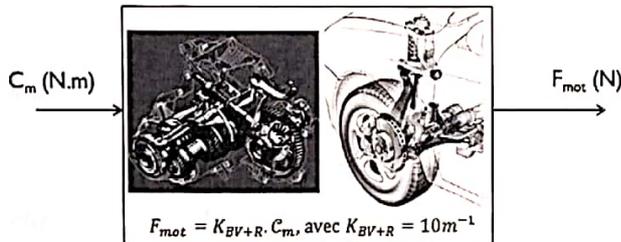
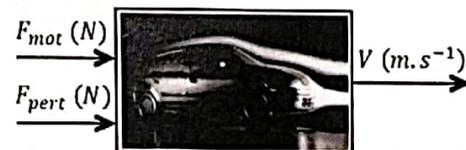


Fig. 11: Boîte de vitesses et arbres de transmission (à gauche) et train avant + roue (à droite)



3.6 Modélisation du comportement dynamique du véhicule

L'effort moteur exercé par les roues motrices sur le sol permet de mettre en mouvement le véhicule. Mais l'effort moteur n'est pas le seul effort subi par le véhicule. Il peut aussi être soumis à des efforts aérodynamiques dus à la résistance de l'air, ou à des forces perturbatrices, comme par exemple la présence d'une montée.



La grandeur finale que l'on souhaite calculer est la vitesse du véhicule. Elle dépend directement de tous ces efforts. Le modèle de comportement que l'on cherche à mettre en place est défini ci-contre.