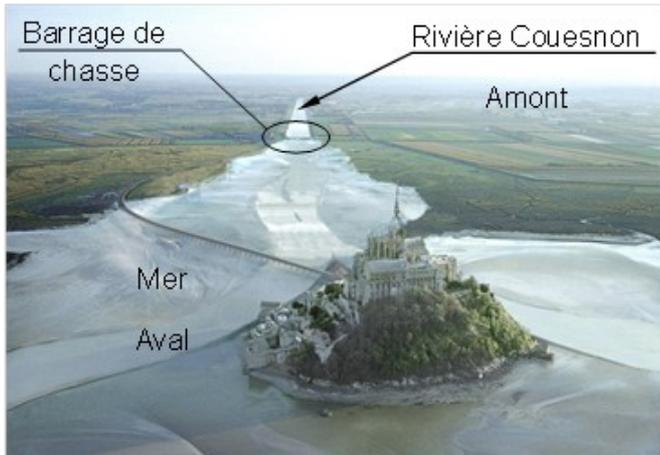


TD Étude des systèmes

BARRAGE DE COUESNON – MONT ST MICHEL



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 St Michel.

Les études ont montré que l'ensablement est inévitable à terme si on n'agit pas sur les transports sédimentaires. Il est 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 au mieux. 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 déblayer les millions de mètres cube de sédiments accumulés et abaisser progressivement le niveau des grèves.

¹ Ce texte s'appuie sur l'épreuve de SI d'un sujet du baccalauréat. Le questionnement a été modifié pour être adapté au niveau attendu en CPGE.



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 rivière et la baie du Mont St Michel à marée basse.

Cet ouvrage est constitué :

- d'une série de huit passes principales de 9 m 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.

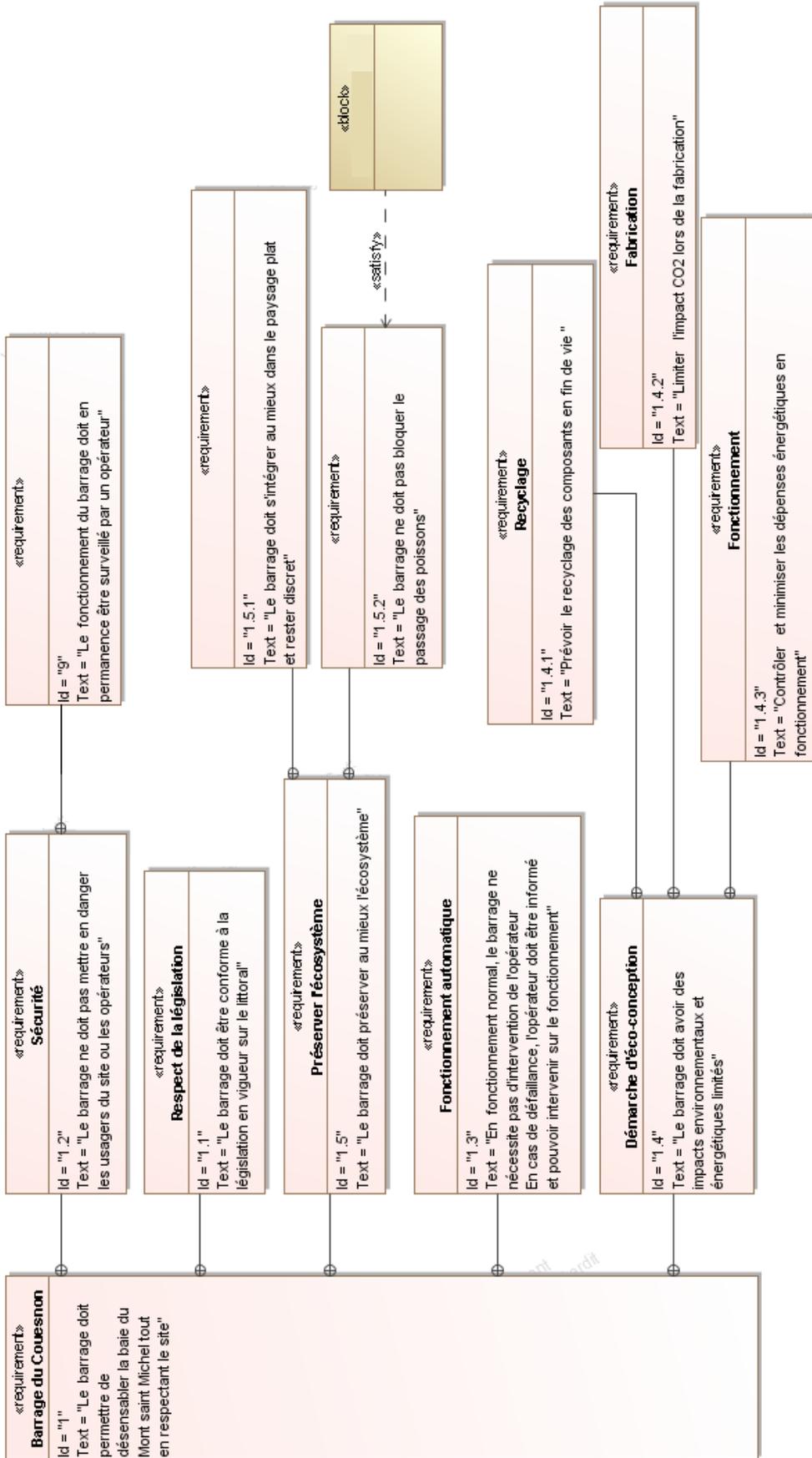
Les 8 vannes permettent de réguler les flux de marée et de créer un effet de chasse. Les photos ci-contre montrent le principe retenu au niveau des vannes ainsi que les 4 premières vannes installées.

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.

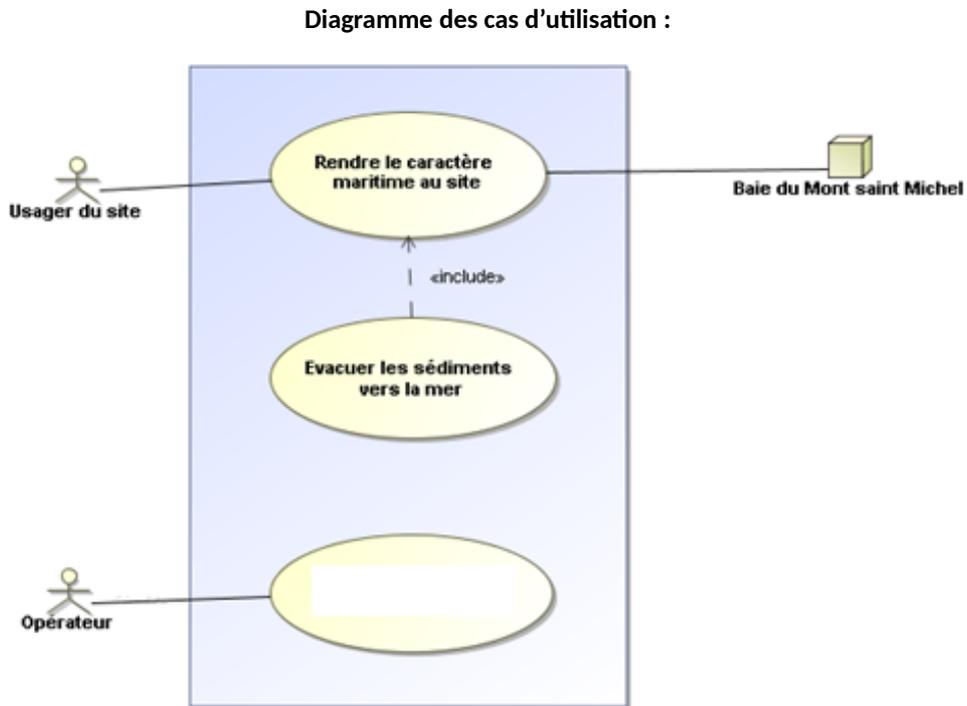
Ce diagramme présente des exigences générales, lors de la suite de la conception, il sera complété par un ou plusieurs diagrammes permettant de traduire des exigences plus précises (exigences fonctionnelles, techniques, économiques, environnementales, ...).

Diagramme des exigences (partiel) du barrage sur le Couesnon :



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

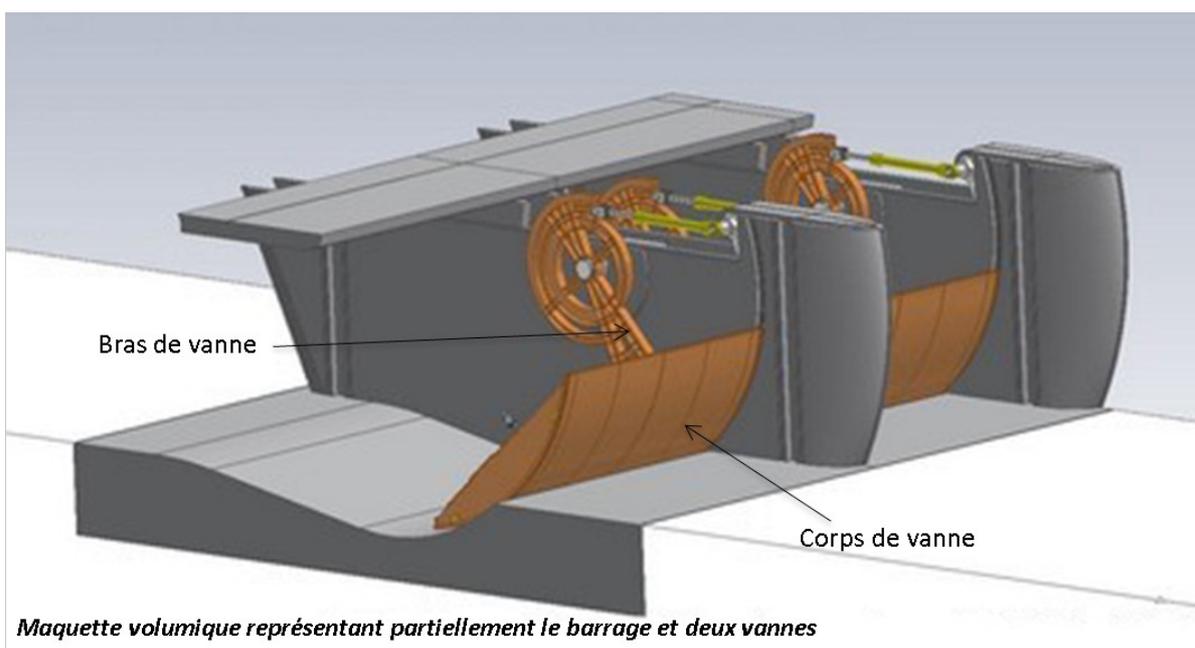
Le diagramme des cas d'utilisation du barrage du Couesnon est donné ci-dessous. Il présente les principaux cas d'utilisation du barrage et les principaux intervenants lors de la phase « utilisation » du cycle de vie du barrage.



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.



Phases de fonctionnement du barrage sur un cycle de marée d'environ 12h 30



1) Marée basse: Vannes secteur fermées



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



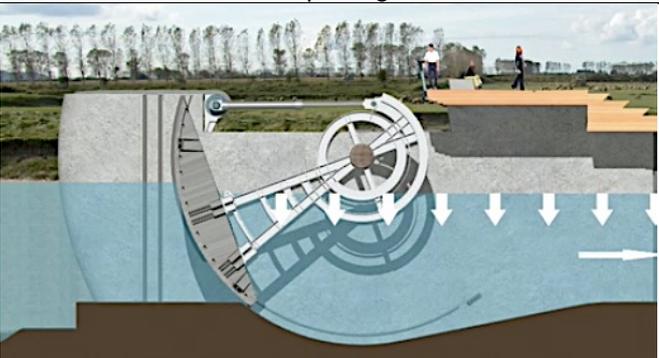
3) Pleine mer – 10 min : ouverture des vannes en « sur verse » pour remplir la rivière d'une eau sans alluvion



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, DREP4 et DREP5 proposent une modélisation structurelle du barrage :

- Diagramme de définition de blocs du barrage complet (DREP3)
- Diagramme de bloc interne de la vanne (DREP4)
- Modélisation du comportement du système sur un logiciel de simulation multi-physique (DREP5)

Le diagramme de bloc interne ne représente qu'une sous-partie du système présenté dans le diagramme de définition de bloc. 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

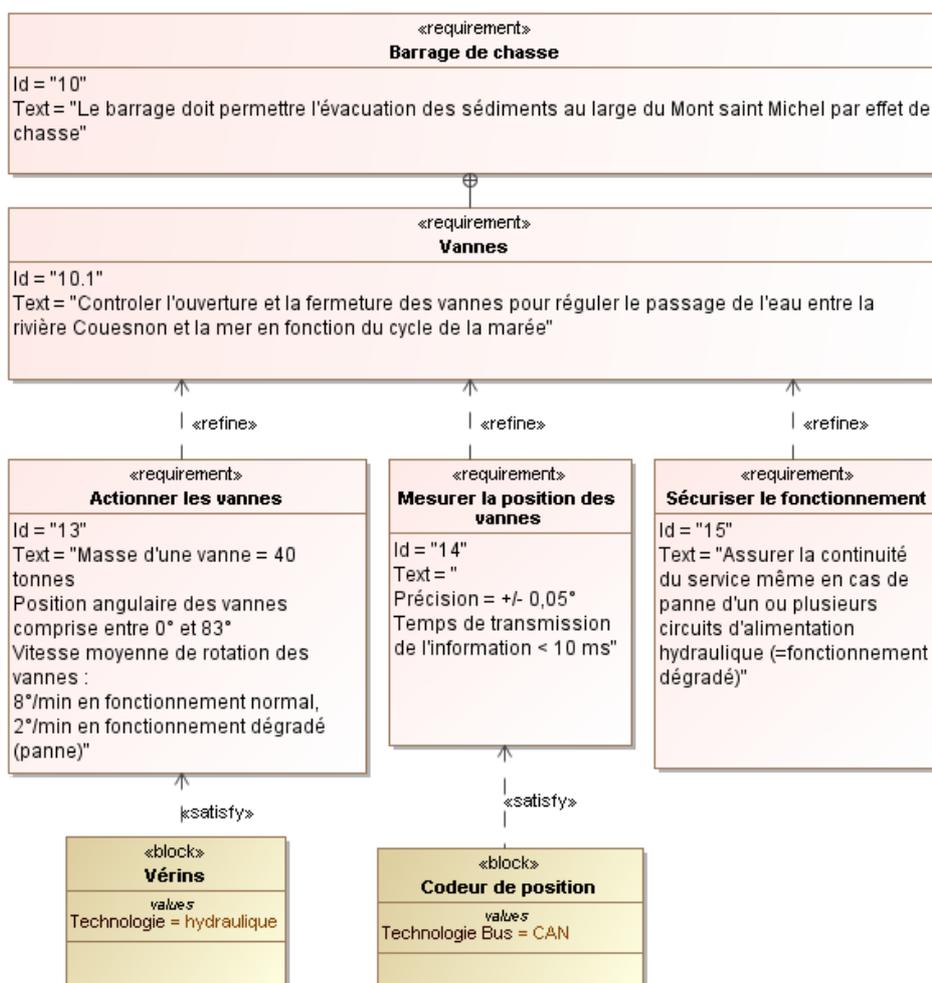
Qu. 9 : sur le diagramme de bloc interne, les flux modélisés par un trait épais représentent un flux d'énergie. A partir de la lecture du diagramme donné sur le document réponse 4, préciser quel est le type de flux modélisé par un trait fin.

La structure de la chaîne d'énergie de vannes, décrite sur le document DREP4 permet de proposer un premier niveau de modélisation du comportement global de la chaîne, réalisé sur un logiciel de simulation multi-physique proposé dans le document DREP 5.

Qu. 10 : sur ce document, compléter le schéma bloc de la simulation en précisant les unités des grandeurs physiques entrantes et sortantes des blocs non renseignés dans le tableau.

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 DREP 6 propose les plans de la vanne dans les positions extrêmes.

Qu. 11 : déterminer et tracer (en couleur) les positions extrêmes du vérin (entre les points B et A) ; mesurer et calculer la course du vérin.

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

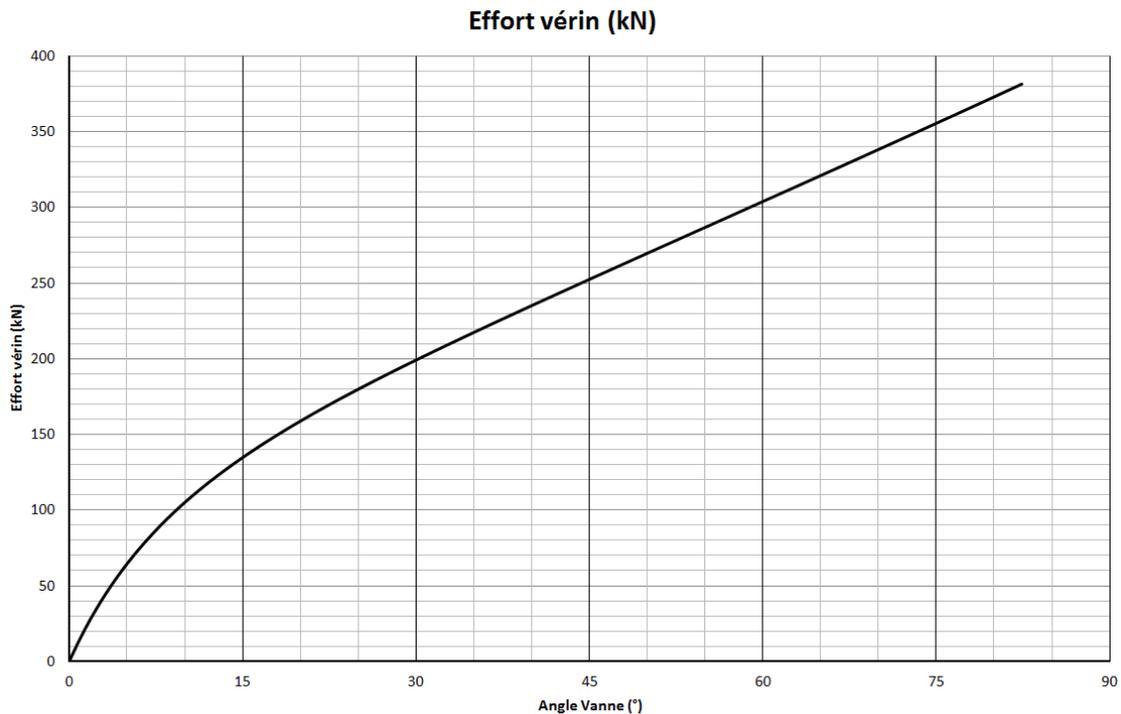
Qu. 12 : déterminer la vitesse moyenne de translation de la tige de vérin en fonctionnement normal, exprimée en $m.s^{-1}$.

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. 13 : 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
Diamètre du piston du vérin	250	mm
Rendement du vérin hydraulique	90	%
Vitesse maximale de translation de la tige	10	mm.s ⁻¹
Effort maximal en tirant	400	kN
Effort maximal en poussant	1120	kN
Pression de travail admissible	230	bars

Qu. 14 : vérifier que le vérin choisi correspond bien aux contraintes imposées par le diagramme des exigences.

Qu. 15 : 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. 16 : 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. 17 : quelle est la conséquence sur les performances du système du fonctionnement en mode dégradé ?

Qu. 18 : 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 :

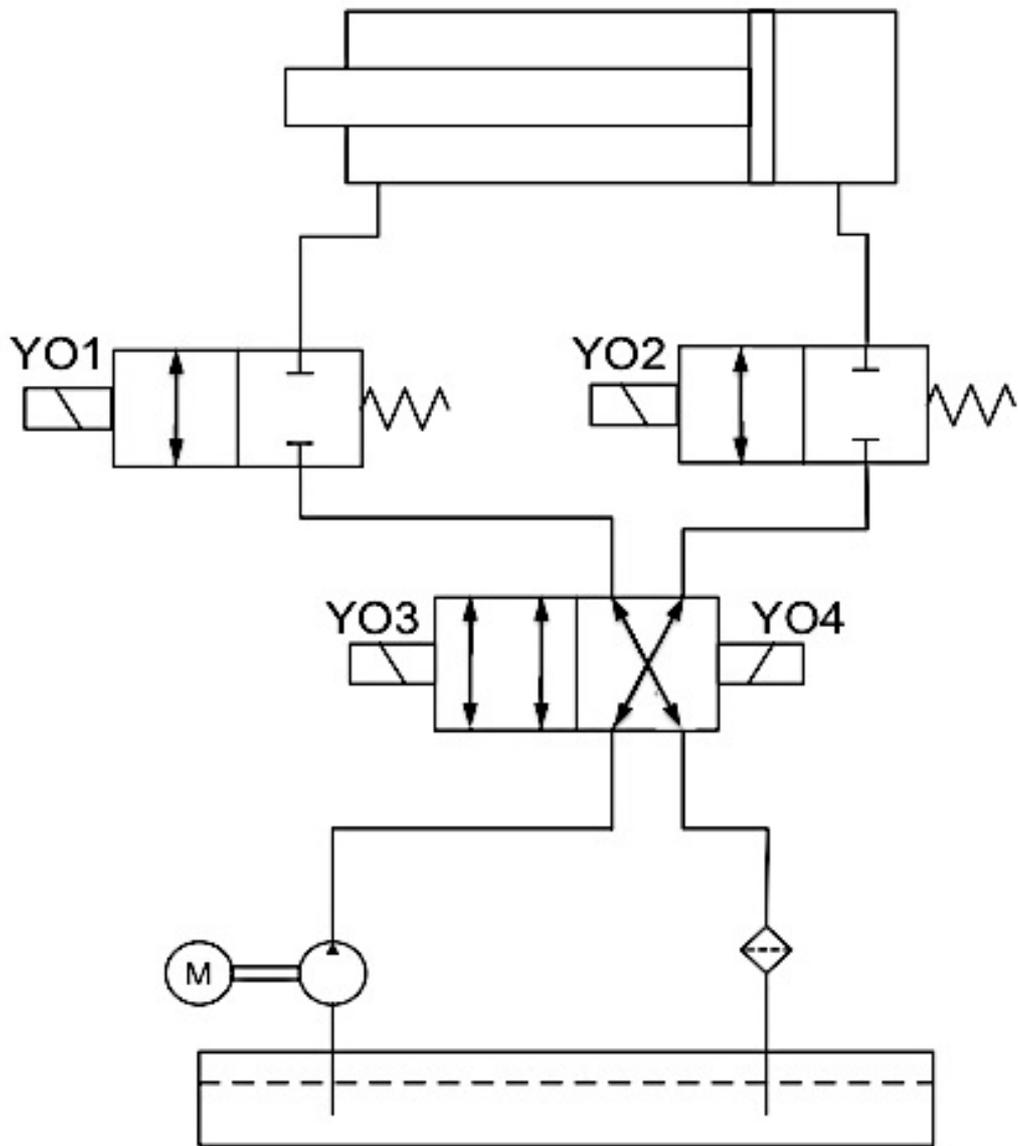
Rendement de la pompe	90	%
Puissance maximale	15	kW

Qu. 19 : Conclure vis à vis du bon dimensionnement des groupes hydrauliques.

Le schéma ci-contre représente le principe de base du circuit hydraulique de puissance des 2 vérins d'une vanne.

Qu. 20 : sur le schéma hydraulique de ce document, identifier en le repassant en couleur, le circuit haute pression d'alimentation du vérin lorsqu'on veut obtenir une sortie de tige ainsi que, dans une autre couleur, le circuit de retour au réservoir

Qu. 21 : identifier la (ou les) commande(s) devant être alimentée(s) pour faire sortir la tige du vérin.



Circuit hydraulique