

DATE			HEURE DÉBUT	HEURE FIN
13	10	23	8 h 10	10 h 10

CLASSE	MPSI
---------------	-------------

MATIERE	S.I.
----------------	-------------

PROFESSEUR	LILLONI 169
-------------------	--------------------

CONSIGNES	Calculatrice	OUI	<input checked="" type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>
	Documents	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input checked="" type="checkbox"/>
	<ul style="list-style-type: none"> - Sortie aux toilettes de 5 min maximum autorisée à partir de 10h15. - Pas de téléphone sinon exclusion immédiate. - Les <u>résultats</u> sont à encadrer (points en moins sinon) - Les parties du sujet sont indépendantes - Calculatrice autorisée 				

Régulation d'un GTA (Groupe Turbo-Alternateur) dans une centrale nucléaire

1. Introduction

La France produit plus de 400 TWh d'électricité à partir d'énergie nucléaire. Une centrale nucléaire contient plusieurs transformations d'énergie. On va s'intéresser à la transformation de l'énergie thermique de la vapeur d'eau du circuit secondaire en énergie mécanique de rotation de la turbine.

La zone d'étude se limitera aux vannes de régulation et de sécurité.



Centrale nucléaire

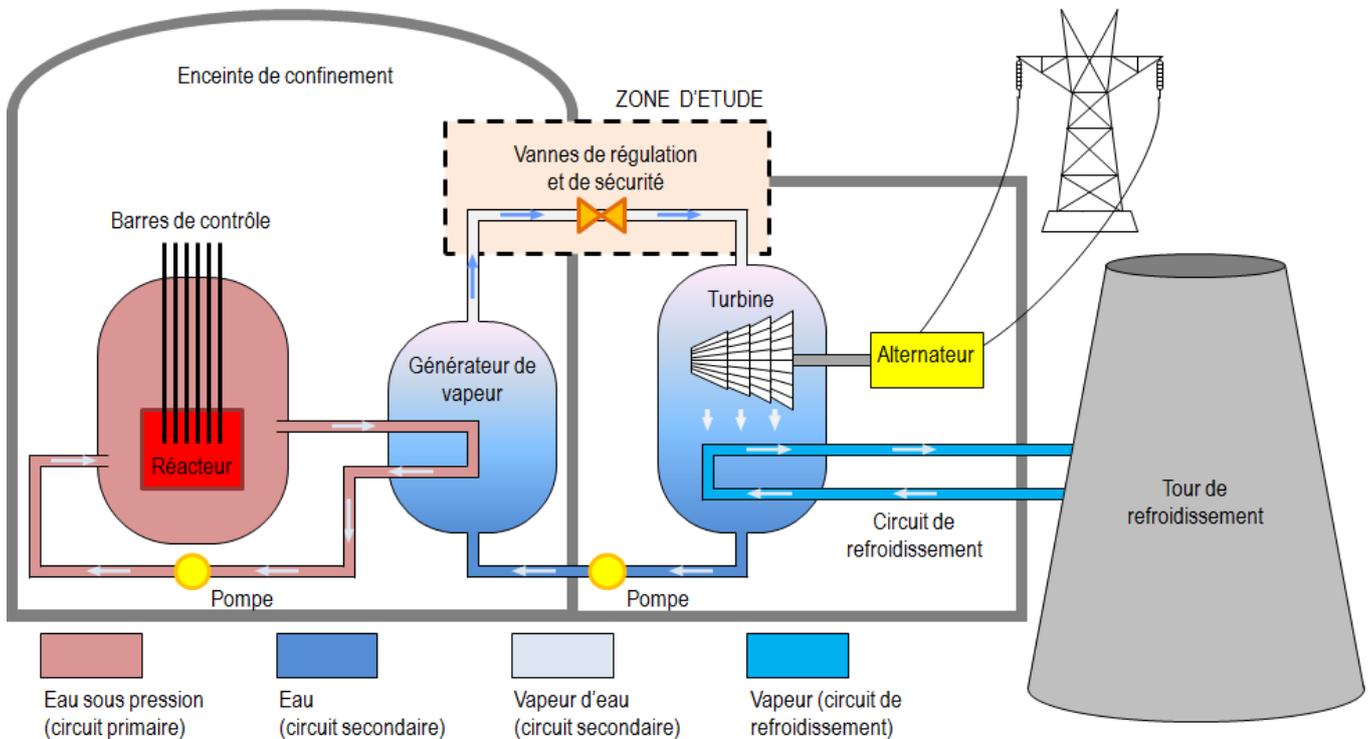


Schéma d'installation d'une centrale nucléaire

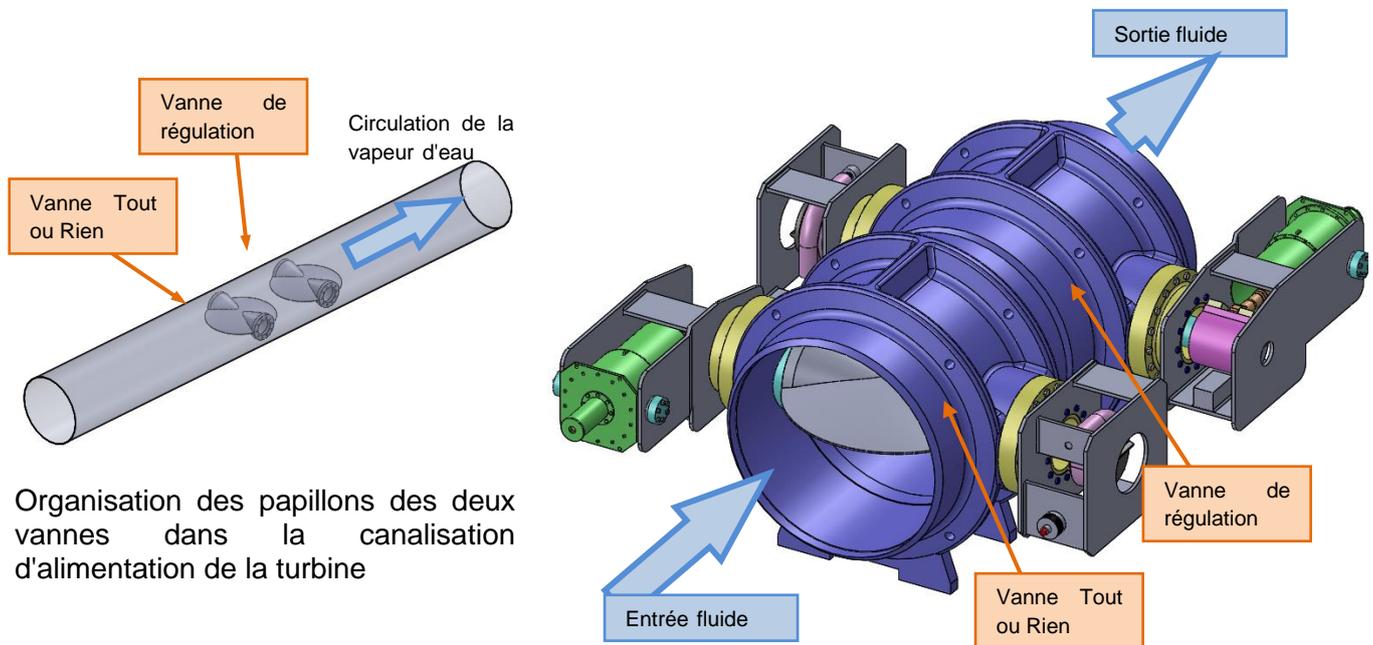


Turbine de centrale nucléaire

2. Présentation de la vanne

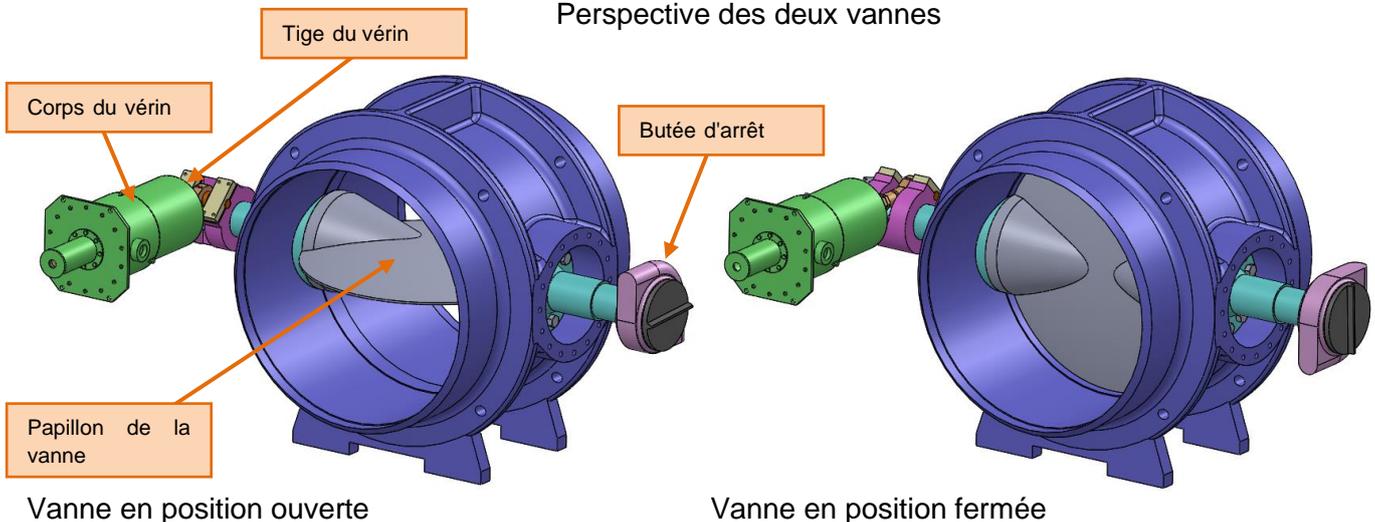
L'objet de notre étude porte sur deux vannes installées sur le circuit secondaire. Ces deux vannes quasi identiques ont deux fonctions différentes :

- vanne de régulation VI : permet de réguler le débit de vapeur et donc la fréquence de rotation de la turbine,
- vanne Tout ou Rien VM : permet de couper le circuit en cas d'alerte de sécurité.



Organisation des papillons des deux vannes dans la canalisation d'alimentation de la turbine

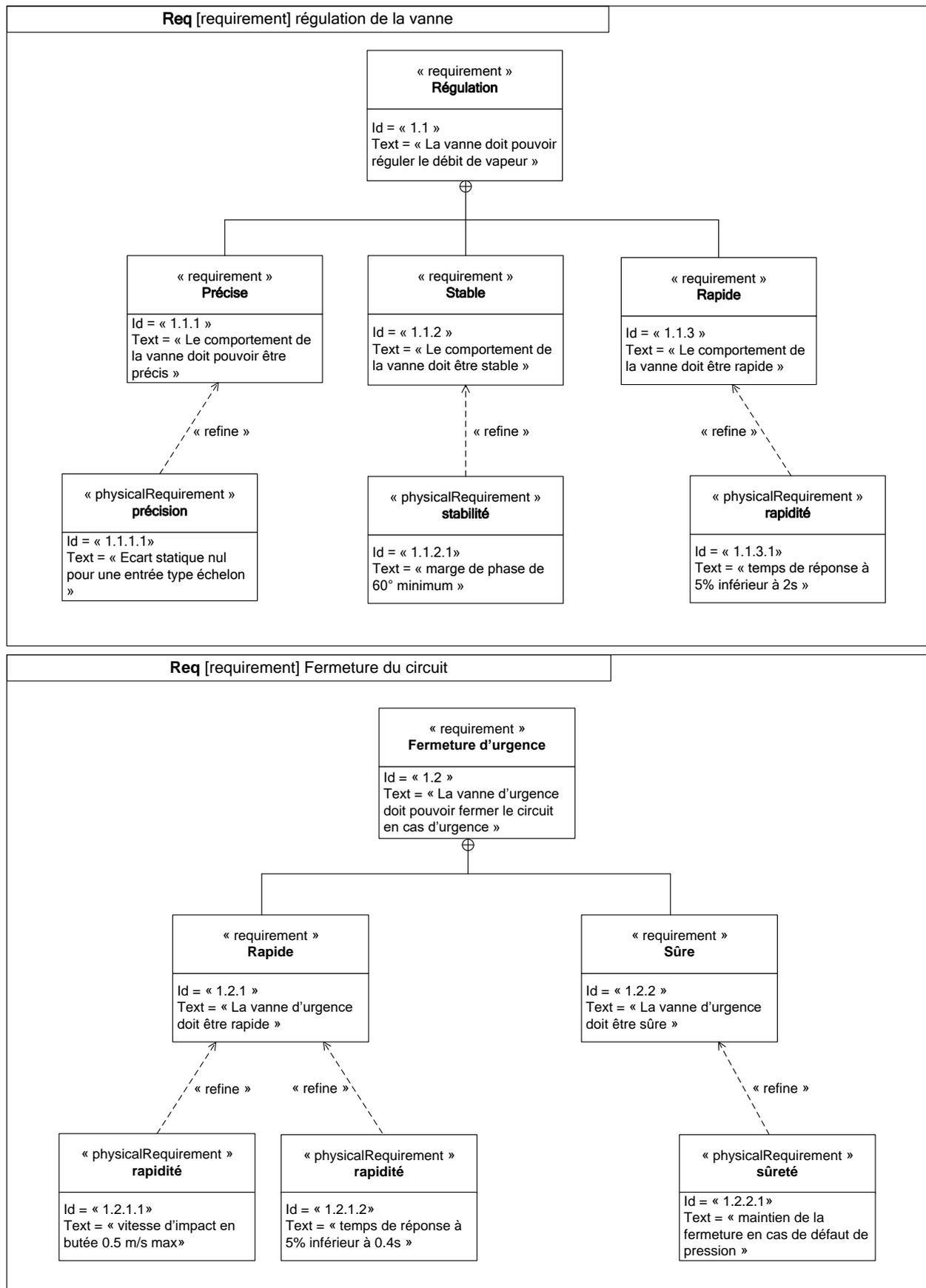
Perspective des deux vannes

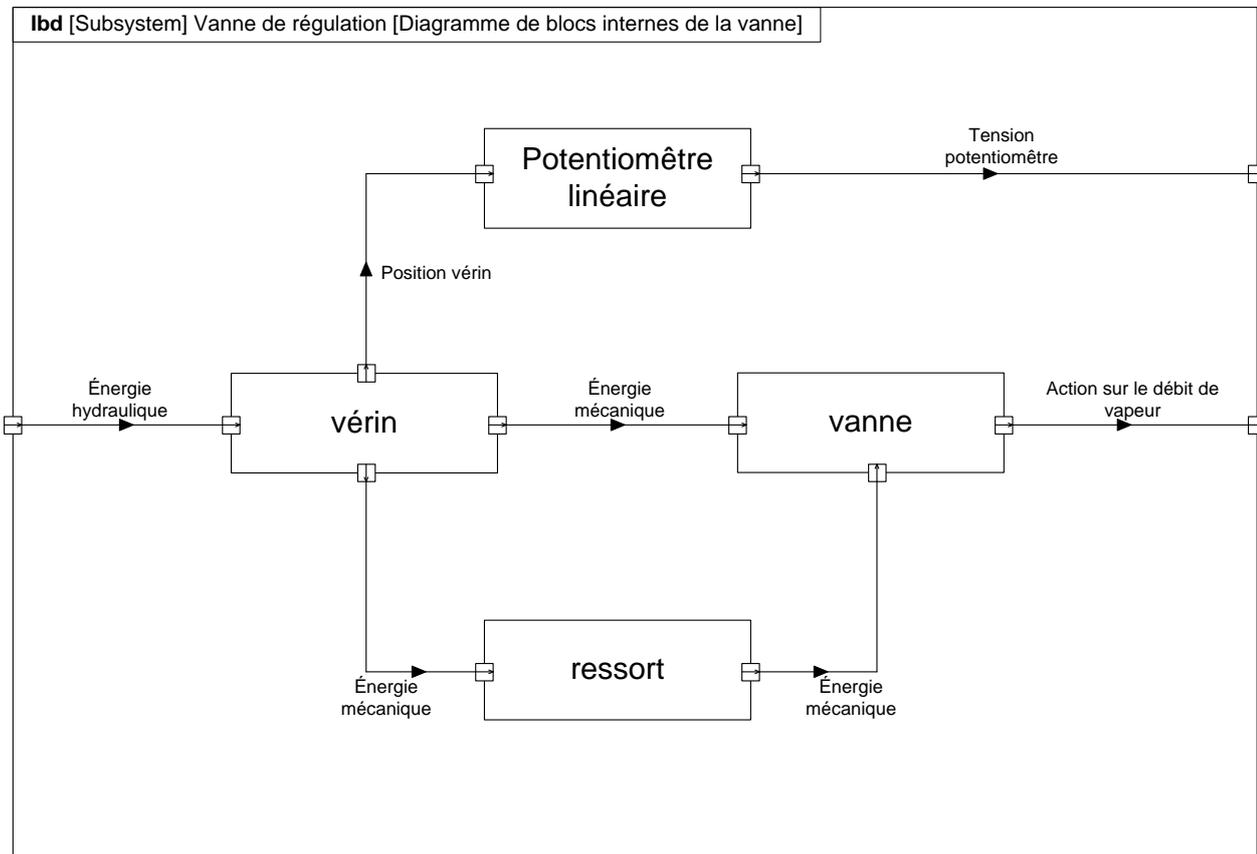


Le débattement angulaire de l'obturateur (papillon) est d'un quart de tour pour passer de la position section de passage nulle (vanne totalement fermée) à section de passage maximale (vanne totalement ouverte). Problématique : la fréquence du courant électrique produit par l'alternateur est liée à la vitesse de rotation de l'alternateur installé en bout d'arbre de la turbine. Cette vitesse de rotation est liée au débit de fluide circulant dans les canalisations d'alimentation de la turbine. Il est donc nécessaire de réguler ce débit.

Nous allons étudier les éléments de nature à garantir cette contrainte de vitesse de rotation du GTA et son contrôle en cas d'incident en relation avec le débit de vapeur du circuit secondaire alimentant la (ou les) turbine(s).

Le diagramme partiel des exigences est donné ci-après ainsi que l'ibd (diagramme des blocs internes) du système :





Q-1 : Qu'est-ce qu'un ibd ? Quel est son rôle ?

Q-2 : Indiquer en le justifiant pour les bloc de l'ibd potentiomètre linéaire, vérin et vanne si le composant correspond à un capteur, un actionneur ou un effecteur.

Q-3 : Représenter la description de la chaîne d'information et de la chaîne d'énergie du cours et associer les potentiomètre linéaire, vérin et vanne aux fonctions qui leur correspondent.

3. Partie I : validation des performances de l'asservissement en position de la vanne

Le débit de vapeur alimentant la turbine est piloté par une vanne « quart de tour » (décrite précédemment) dont la position angulaire est asservie. L'objectif de cette partie est le dimensionnement du correcteur installé dans la boucle d'asservissement de la commande de position angulaire du papillon, permettant de vérifier les exigences attendues.

Etude géométrique de la vanne

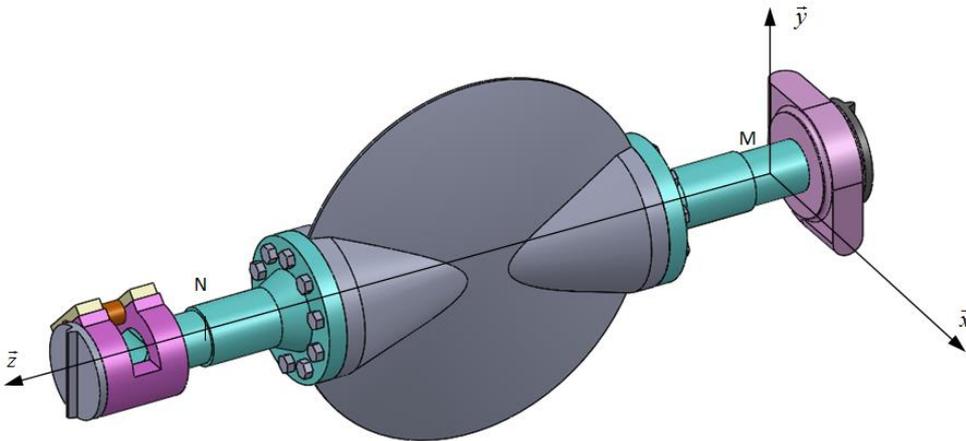
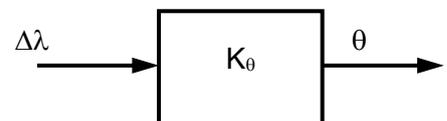


Figure 1 : papillon de la vanne

On cherche à construire un modèle linéaire (de proportionnalité) de la loi entrée-sortie de ce mécanisme. Une étude géométrique du mécanisme est menée à partir du modèle de l'Annexe 1. A cet effet, une simulation numérique de ce modèle conduit au tracé de l'évolution du paramètre λ en fonction de l'angle θ fourni en Annexe 2.



Q-4 : Les deux positions extrêmes de la vanne correspondent à $\theta = \pm 45^\circ$. En déduire à l'aide de la courbe de l'annexe 2 la course utile c du vérin (en mm), c'est-à-dire la variation totale de λ correspondante, $c = \lambda_{\max} - \lambda_{\min}$.

On note $\Delta\lambda = \lambda - 865$ (en mm) la variation de longueur du vérin.

Q-5 : Identifier sur la courbe de l'annexe 2 la valeur numérique du gain K_θ tel que : $\theta = K_\theta \cdot \Delta\lambda$ (avec $\Delta\lambda$ en mm et θ en radian) traduisant la proportionnalité entre θ et $\Delta\lambda$.

Q-6 : Dans la position particulière du mécanisme pour laquelle le triangle (OAB) est rectangle en A, déterminer la longueur du vérin λ correspondante. Donner la valeur de θ alors atteinte.

Le vérin est alimenté par une électrovanne (entrée tension de commande $u(t)$, sortie débit $q(t)$ débit volumique) dont le comportement est modélisé par un gain pur de valeur K_{ev} . La section utile du vérin, ou surface projetée du piston est notée $S = 0,01 \text{ m}^2$. Cela correspond à l'aire d'un disque dont le diamètre est celui du piston.

Q-7 : Déterminer la durée de sortie de tige pour la course utile c du vérin calculée en Q-4, et pour un débit volumique de fluide (supposé incompressible) en sortie d'électrovanne de $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$. (le fluide remplit la chambre cylindrique du corps de vérin en poussant le piston)

La mesure de l'angle θ n'est pas réalisée directement, un potentiomètre rectiligne mesure le déplacement de la tige du vérin. Ce capteur de gain K_{capt} délivre une tension $u_{\lambda}(t)$ image de la position définie par $\Delta\lambda(t)$:

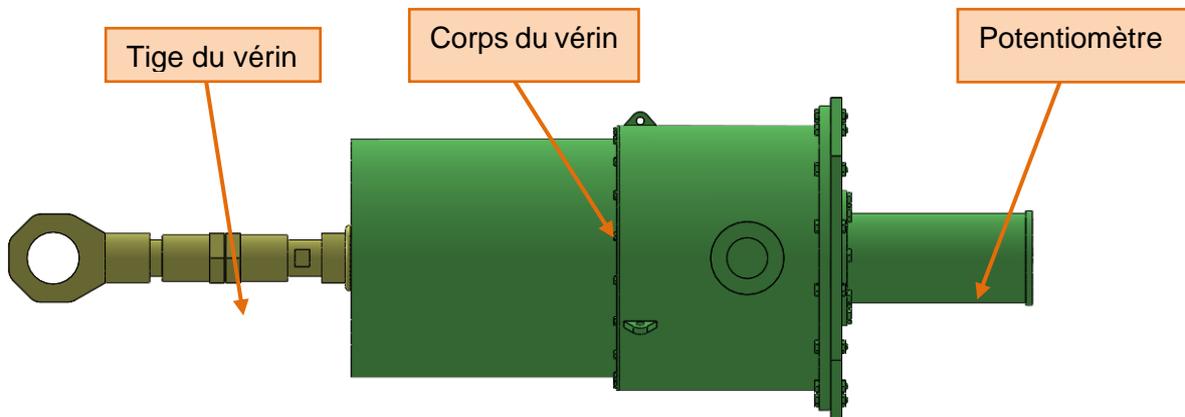


Figure 2 : vérin et potentiomètre

Q-8 : Compléter le schéma d'asservissement représenté sans perturbation de l'Annexe 4 en remplissant les 3 noms manquant et en complétant le tracé de la flèche ébauchée en pointillés correspondant à la grandeur mesurée par le potentiomètre.

Q-9 : Quelles est la source principale de perturbation pour cet asservissement.

Modèle affiné du comportement de la vanne

On cherche à améliorer la représentativité du modèle en réalisant un essai sur l'électrovanne seule. On impose un échelon de tension de commande de cette électrovanne de 10V et on mesure l'évolution du débit de fluide hydraulique en sortie (en m^3/s). La réponse temporelle est fournie en annexe 3.

Q-10 : Identifier le temps de réponse à 5% de l'électrovanne en considérant la valeur finale du débit de $0,107 \text{ m}^3/\text{s}$.

Réponse simulée de l'asservissement de position de la vanne de régulation.

La réponse de l'asservissement simulée à partir d'un modèle de calcul incluant le comportement de l'électrovanne donne une réponse à un échelon de consigne de 20° représentée en Annexe 5 avec l'unité de l'abscisse en s.

Q-11 : Indiquer sur l'Annexe 5 les valeurs d'abscisses et d'ordonnées utiles et déterminer les valeurs des temps de réponse à 5% $tr_{5\%}$, d'écart statique ε_s et de premier dépassement relatif D_1 . Comparer au CdCF fourni et conclure.

Une modélisation du mécanisme est nécessaire pour obtenir la courbe de l'annexe 2 et identifier la valeur numérique du gain K_θ tel que : $\theta = K_\theta \cdot \Delta\lambda$.

Pour cela il faut déterminer la relation non linéaire entre θ et λ définis sur l'Annexe 1.

Le schéma de l'Annexe 1 propose une représentation de l'architecture du vérin faisant apparaître le piston et la chambre du corps de vérin. La liaison pivot glissant d'axe (A, \vec{x}_3) entre 2 et 3 n'est pas schématisée de manière normalisée.

Q-12 : Compléter le schéma cinématique Annexe 6 avec la représentation normalisée de cette liaison pivot glissant.

Q-13 : Proposer un graphe de liaison du mécanisme ainsi schématisé. Nommer clairement les liaisons y apparaissant.

Q-14 : Représenter proprement les figures de calcul présentant la rotation d'angle θ autour de $\vec{z}_1 = \vec{z}_0$ puis la rotation d'angle β autour de $\vec{z}_3 = \vec{z}_0$.

Q-15 : Exprimer le produit scalaire $\vec{x}_3 \cdot \vec{y}$ en fonction de l'angle variable utile.

Q-16 : Exprimer les vecteurs unitaires $\vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{x}_1, \vec{y}_1$ en fonction des angles variables utiles dans la base (\vec{x}, \vec{y})

Q-17 : Ecrire la fermeture géométrique sous la forme d'une somme de vecteurs nulle.

Q-18 : En déduire un système de 2 équations scalaires où apparaissent entre autres les variables θ, β et λ .

Q-19 : Exprimer alors λ en fonction de θ et des constantes utiles.

Q-20 : Exprimer β en fonction de θ et des constantes utiles.

Q-21 : Retrouver par application numérique à partir du résultat de la question 19 la course c du vérin en considérant les valeurs extrêmes de $\theta = \pm 45^\circ$.

Q-22 : Déterminer les valeurs β correspondant à $\theta = \pm 45^\circ$ et expliquer en quoi la liaison pivot entre 0 et 3 est indispensable

Régulation d'un GTA (groupe turbo-alternateur) dans une centrale nucléaire

Annexe 1 : modèle et paramétrage cinématique de la vanne

La vanne est mise en rotation par l'intermédiaire d'un vérin hydraulique dont le débit d'alimentation est contrôlé par une électrovanne. Le schéma ci-après fait apparaître les éléments suivants :

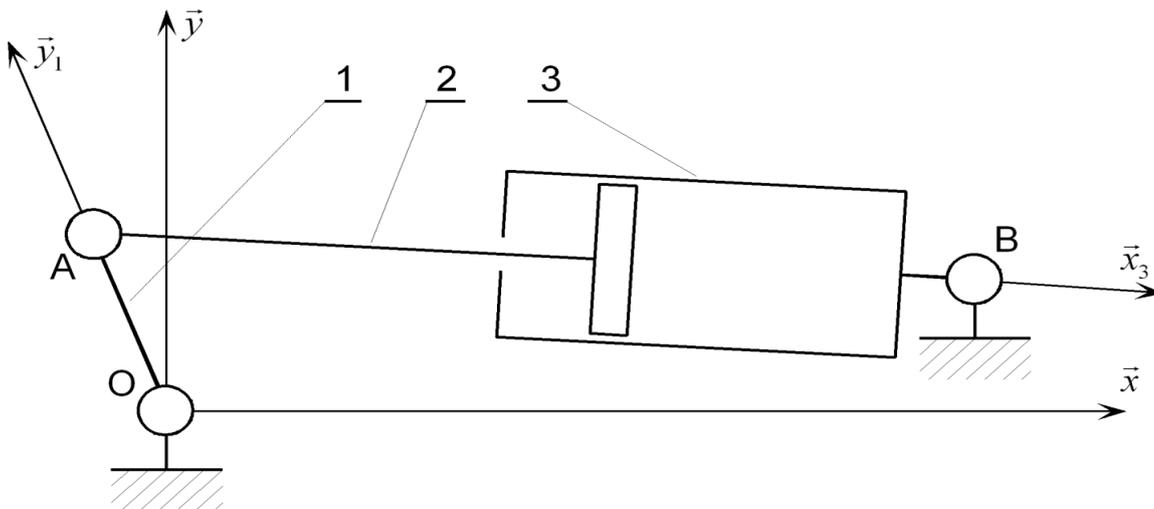
0 : bâti

1 : levier de commande solidaire du papillon

2 : tige du vérin

3 : corps du vérin

Le vérin est alors de longueur AB variable $AB = \lambda(t)$



Modèle cinématique du pilotage de la vanne.

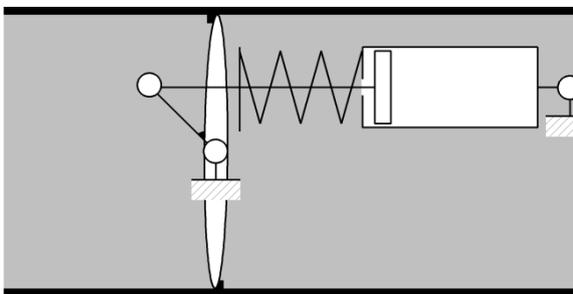
On peut définir les repères suivants associés aux différentes pièces (solides) du mécanisme :

$R_0 : (O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ lié au bâti **0**,

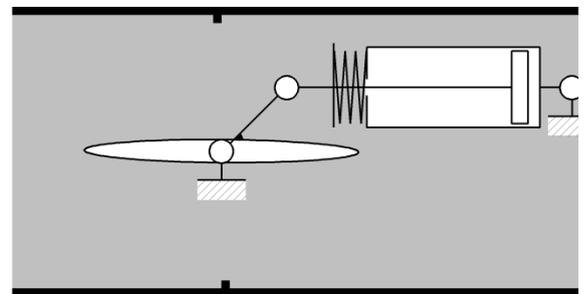
$R_1 : (O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z})$ lié au levier **1** tel que : $\vec{OA} = e \cdot \vec{y}_1$ et $\theta(t) = (\vec{x}, \vec{x}_1) = (\vec{y}, \vec{y}_1)$.

$R_3 : (B, \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z})$ lié au corps du vérin **3** tel que : $\vec{OB} = L \cdot \vec{x} + d \cdot \vec{y}$, $\beta(t) = (\vec{x}, \vec{x}_3) = (\vec{y}, \vec{y}_3)$ et $\vec{AB} = \lambda(t) \cdot \vec{x}_3$

$L = 864,8 \text{ mm}$, $d = 96 \text{ mm}$, $e = 135,8 \text{ mm}$ sont alors des longueurs constantes



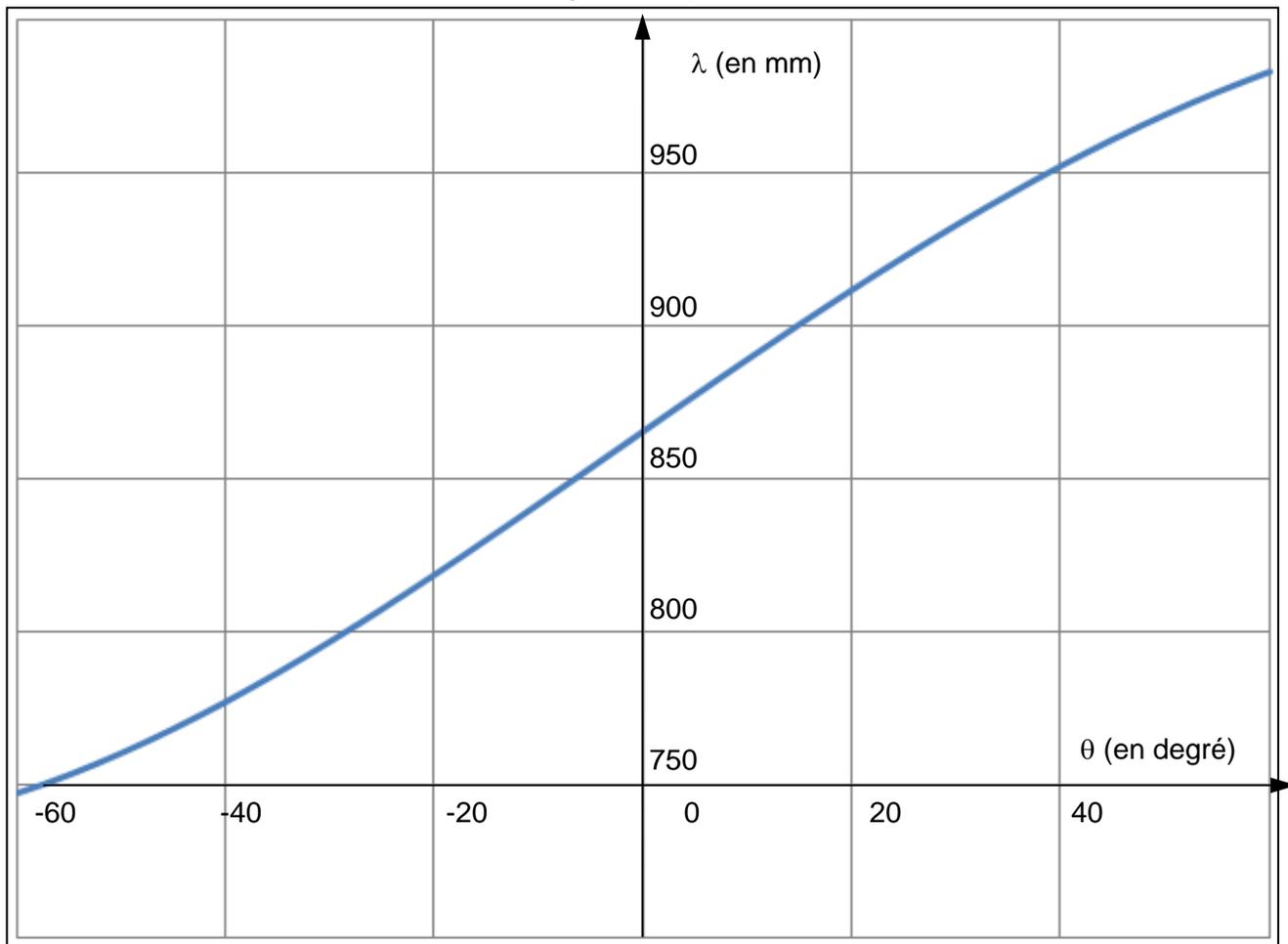
Vanne en position fermée ($\theta = +\frac{\pi}{4}$)



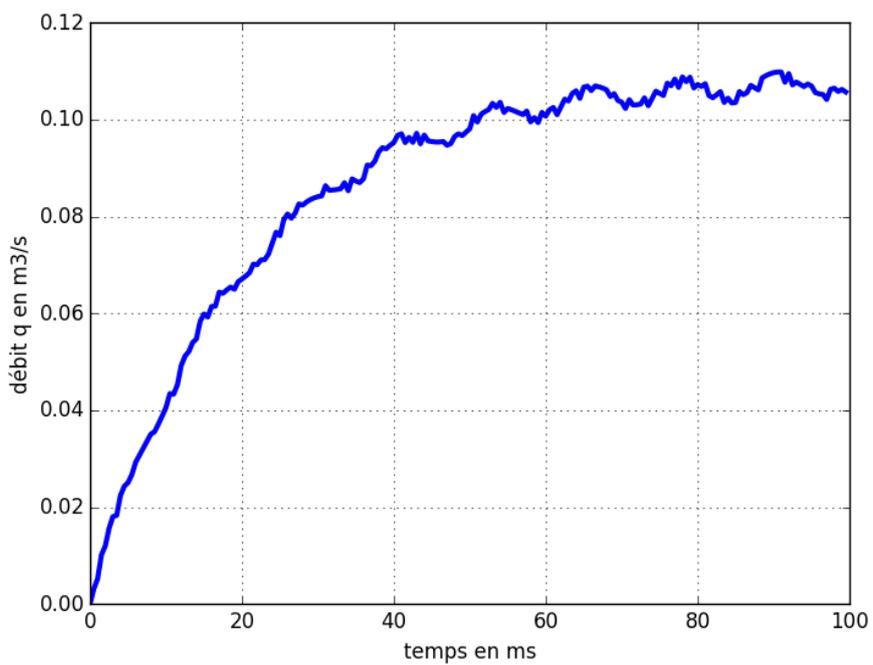
Vanne en position ouverte ($\theta = -\frac{\pi}{4}$)

Remarque : la vanne asservie ne comporte pas de ressort, seule la vanne tout en rien en comporte un. Les deux vannes sont modélisées du point de vue géométrique avec le même paramétrage.

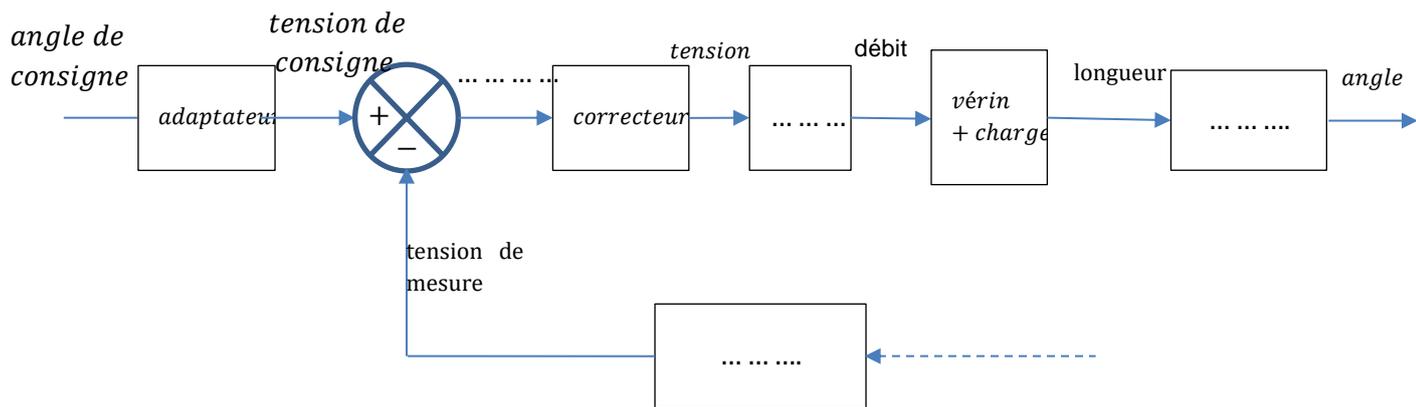
Annexe 2 : loi entrée-sortie issue de l'étude géométrique



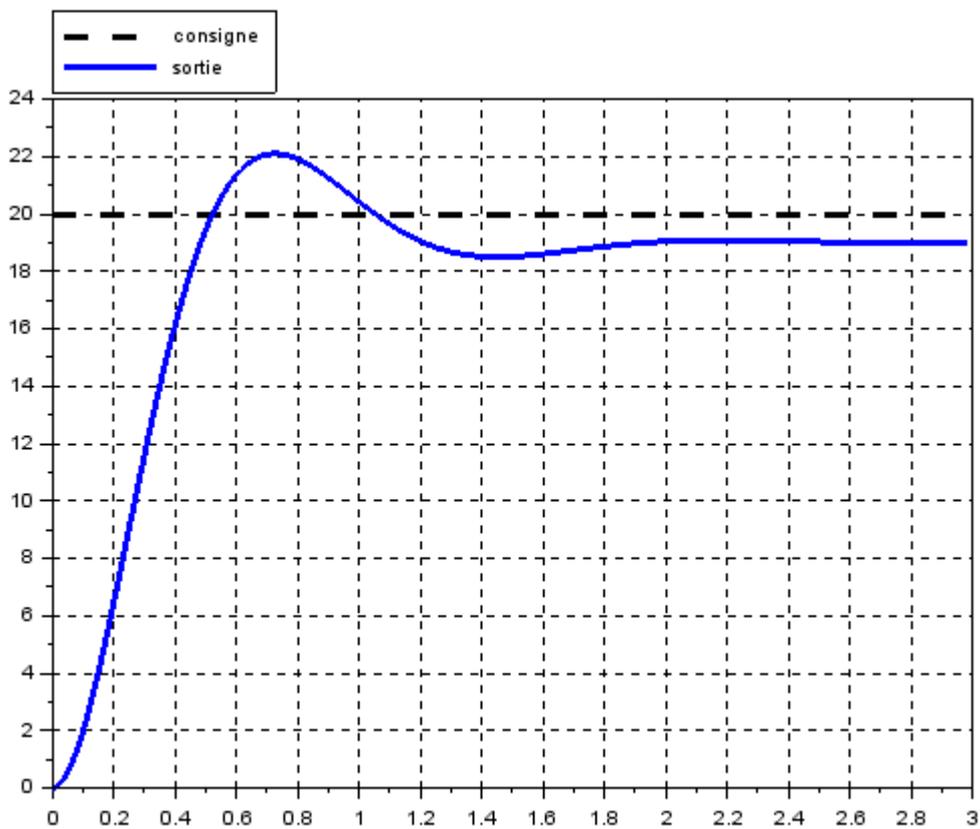
Annexe 3 : réponse temporelle de l'électrovanne (temps en ms)



Annexe 4 : schéma fonctionnel de l'asservissement de position angulaire de la vanne



Annexe 5 : réponse à un échelon de consigne de position de 20°



Annexe 6 : schéma cinématique normalisé

