

Travail préparatoire à l'évaluation SSI 2022 - version 1

Dans cette activité nous allons simuler un circuit hydraulique de turbopompe dans différentes configurations, dont en particulier un circuit avec embranchement dans lequel le fluide circulant est séparé dans deux conduites différentes.

Hypothèses :

Les hypothèses principales de travail seront les suivantes :

- Fluide considéré incompressible.
- Toutes les pertes de charge seront modélisées par des longueurs de conduite droite équivalentes.
- Pour simplifier les calculs on considèrera que les écoulements sont toujours turbulents.
- On considèrera que toutes les conduites ont le même diamètre.

Données, remarques et recommandations par rapport au travail sur AMESIm :

La première partie du sujet peuvent être réalisée uniquement avec l'atelier **Signal, Control**, pour la fin du sujet on utilisera des composants des bibliothèques **Hydraulic**¹. Il est donc nécessaire de préparer les circuits de composants de la bibliothèque **Signal, Control** de manière à ce qu'on puisse les interfacer avec des composants des bibliothèques **Hydraulic** pour lesquelles les unités sont le L/min pour le débit, et le bar pour la pression.

Pour simplifier les calculs on considèrera que toutes les pertes de charge au sein des conduites droites égales à :

$$\Delta P = k * L * Q_v^2$$

avec :

- * ΔP chute de pression en bar
- * Q_v débit en L/min . Lors de toute l'activité le débit ne devrait normalement pas s'inverser et son signe devrait donc être constant.
- * L longueur de conduite en m
- * k constante égale à $k = 0,0002$

Le fichier caractéristique de la pompe donnant l'augmentation de pression qu'elle apporte en fonction du débit circulant au sein de celle-ci $\Delta P = f(Q_v)$, est fourni. Il se nomme **Energie.data**. Attention, comme c'est usuellement fourni par les constructeurs de pompe, la hauteur manométrique H totale est en mètre $[m]$. Le débit lui est en litre par minute $[L/min]$ dans le fichier. La relation pour convertir cette donnée en pascal $[Pa]$ est la suivante :

$$H[m] = \frac{\Delta P[pa]}{\rho * g}$$

1 Réalisation d'un composant représentant la pompe

Dans cette partie du sujet vous allez créer un circuit permettant de représenter la pompe fournissant de l'énergie au fluide, cette énergie dépend du débit circulant dans la pompe.



FIGURE 1 – Schéma des entrée et sortie du circuit représentant la pompe

Travail à réaliser :

1. Ouvrez le fichier **SSI2022embranchement.ame** , vous travaillerez à partir de ce fichier de base donnant les propriétés de l'eau.
2. Dans le fichier fourni, créez un circuit traduisant le fonctionnement de la pompe en suivant ces consignes :
 - nous négligerons la variation d'énergie potentielle entre l'entrée et la sortie de la pompe

1. Ces deux bibliothèques sont normalement accessibles dans la version étudiante du logiciel.

- le circuit calculera le gain de pression entre l'entrée et la sortie de la pompe en fonction du débit.
 - le fichier de points caractéristiques de la pompe *Energie.data* est fourni. Il est formaté en table 1D (# **Table format : 1D**). Il contient les caractéristiques de 49 points de fonctionnement avec des débits, en L/min, en première colonne et une hauteur manométrique, en mètre, en seconde colonne.
 - pour exploiter le fichier caractéristique de pompe vous utiliserez le composant *SIGFXA01* de la bibliothèque **Signal, Control** permettant d'interpoler un fichier de points. Pour le paramétrage du composant, vous choisirez les options suivantes :
 - *interpolation type* : *cubic*
 - *boundary conditions* : *natural (y''=0)*
 - *cubic data out of range* : *linear*
 - *out of range input action* : *warning*
3. Tracez la courbe d'augmentation de pression au passage de la pompe en fonction du débit circulant dans celle-ci sur la plage $0L/min \leq Q_v \leq 19L/min$.

2 Couplage pompe et circuit

Dans cette partie vous allez créer un circuit associant la pompe représentée dans la partie précédente avec une conduite droite siège de perte de charge.

Pour cette partie du sujet la longueur de conduite droite à prendre en compte pour les pertes de pression est de $l_{amont} = 10m$ en amont de la pompe et $l_{aval} = 40m$ en aval de celle-ci.

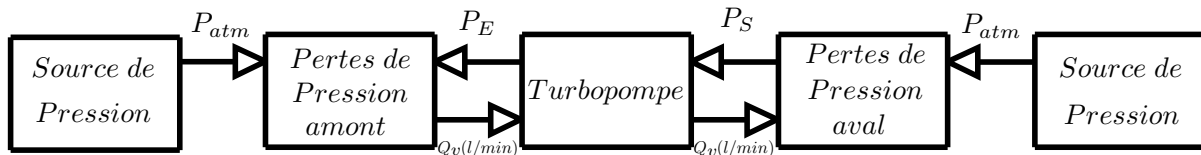


FIGURE 2 – Schéma blocs du circuit de l'ensemble pompe et conduite

Travail à réaliser :

4. Réalisez le circuit hydraulique représentant la pompe et ainsi que les pertes de charge dans les conduites. Dans ce circuit, de l'eau est pompée d'un réservoir à pression atmosphérique, représenté sous AMESim par une source de pression constante, vers un autre réservoir à pression atmosphérique, aussi représenté par une source de pression constante. Vous réaliserez un circuit respectant l'architecture des signaux représentée sur le schéma bloc figure 2 :
 - Respectez le sens de transfert des signaux entre les différentes parties du circuit qui seront ainsi compatibles avec les composants de la bibliothèque **Hydraulic**.
 - Notez qu'il est normal d'obtenir au cours de la compilation le message d'information spécifiant que le circuit contient une « algebraic loop », en effet la structuration du circuit induit la nécessité de calculer une variable implicite.
5. Simulez l'installation et déterminez le débit stabilisé dans celle-ci.

3 Estimation du risque de cavitation

Dans cette partie nous allons évaluer le risque de cavitation de la pompe. La méthode classique consiste à s'assurer qu'en fonctionnement le NPSH² disponible à l'aspiration de la pompe soit supérieur au NPSH requis. Pour rappel voici la définition du NPSH disponible :

$$NPSH_{dispo} = \frac{P_0 - P_V^S}{\rho * g} + \frac{c_0^2}{2 * g}$$

Avec :

- P_0 pression à la bride d'aspiration de la pompe
- P_V^S pression de vapeur saturante du liquide pompée. On prendra pour cette application $P_V^S = 2339Pa$

2. NPSH : Net Positive Suction Head

- c_0 la vitesse moyenne du fluide à la bride d'aspiration de la pompe. Pour le calcul on considèrera que la conduite a un diamètre de $D = 1\text{cm}$ à l'aspiration de la pompe.

Pour vérifier qu'il n'y a pas de risque de cavitation, les constructeurs fournissent une courbe caractéristique du NPSH requis à l'aspiration en fonction du débit en $[L/min]$. Pour ce travail on a numérisé les coordonnées des points caractéristiques de la courbe de notre pompe dans le fichier *NPSH.data* qui vous est fourni. Comme précédemment, pour exploiter le fichier caractéristique de pompe vous utiliserez le composant *SIGFXA01* de la bibliothèque **Signal, Control** permettant d'interpoler un fichier de points. Pour le paramétrage du composant, vous choisirez les options suivantes :

- *interpolation type* : *cubic*
- *boundary conditions* : *natural* ($y''=0$)
- *cubic data out of range* : *linear*
- *out of range input action* : *warning*

Travail à réaliser :

6. Modifier votre circuit de manière à calculer le NPSH disponible à l'aspiration de la pompe.
7. Modifier votre circuit de manière à calculer la NPSH requis dans la pompe.
8. Ajouter les composants nécessaires à calculer la marge à la cavitation, soit la différence entre le NPSH disponible et le NPSH requis. Donnez la valeur de cette marge pour notre circuit et conclure quand au risque de cavitation.

4 Simulation d'un circuit avec embranchement

Dans cette partie du sujet nous allons modifier le circuit de manière à représenter une installation dans laquelle la pompe débite dans deux réservoirs à pression atmosphérique. La pompe débite dans une jonction qui redirige le fluide dans deux conduites droites de longueurs respectives l_1 pour la branche 1 et l_2 pour la branche 2 (voir figure 3).

Les deux conduites droites débouchent sur des réservoirs à pression atmosphérique.

Le circuit en amont de la pompe sera conservé (longueur de conduite droite $l_{\text{amont}} = 10\text{m}$) .

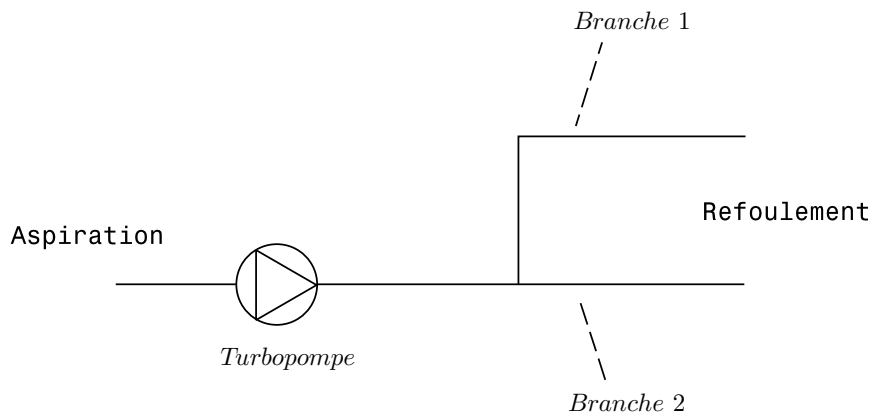


FIGURE 3 – Schéma du circuit avec les deux branches

Travail à réaliser :

9. Modifier le circuit pour inclure cet embranchement en respectant l'architecture de la figure 4. Pour simplifier, on négligera les pertes de charges au niveau de l'embranchement et les équations à résoudre au niveau de ce composant sont les suivantes :

* $Q_{v2} = Q_v - Q_{v1}$ (conservation de la masse)

* $P_{S \text{ Branche1}} = P_{S \text{ Pompe}} = P_{S \text{ Branche2}}$ (conservation de l'énergie)

Notez que pour les pertes de pression dans la branche 1, les données d'entrées et sorties sont différentes de celles pour les pertes de pression dans la branche 2, il vous faut donc adapter les composants en conséquence.

Note : Si vous ne parvenez pas à réaliser cette question, pour continuer le travail et réaliser les questions suivantes vous pouvez substituer au composant demandé un composant standard de la bibliothèque **Hydraulic** de type **H3NODE** (voir figure 5)

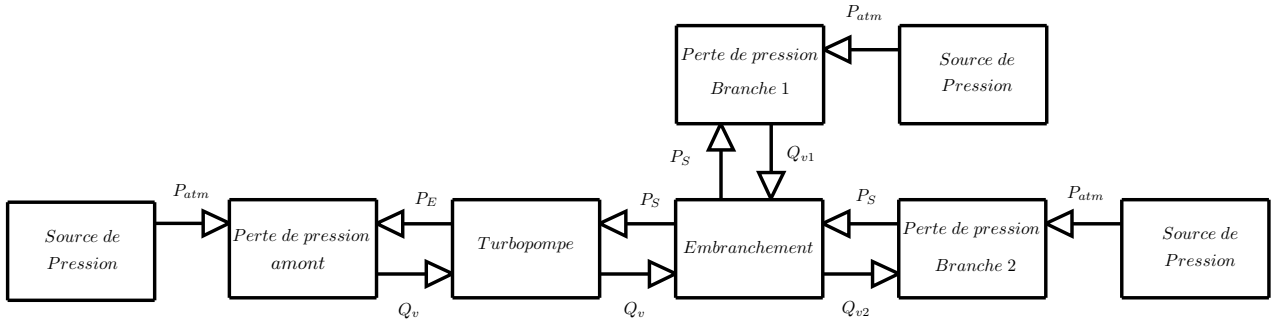


FIGURE 4 – Schéma des entrées et sorties du circuit représentant le circuit avec les deux branches

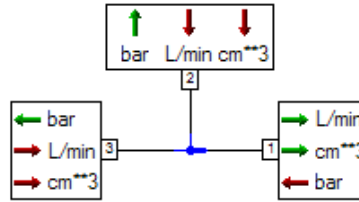


FIGURE 5 – Composant H3NODE1

10. Déterminez le débit dans la branche 1 (Q_{v1}), le débit dans la branche 2 (Q_{v2}) et le débit dans la pompe (Q_v) avec des longueurs de conduites égales à $l_1 = l_2 = 40m$.
11. Même question pour $l_1 = 20m$ et $l_2 = 60m$

Pour la suite du sujet on conservera toujours $l_1 = 20m$ et $l_2 = 60m$.

5 Ajout d'une vanne de réglage du débit

Nous allons maintenant rajouter une vanne de réglage progressive sur la branche 1 qui permettra de régler le débit souhaité dans cette branche.

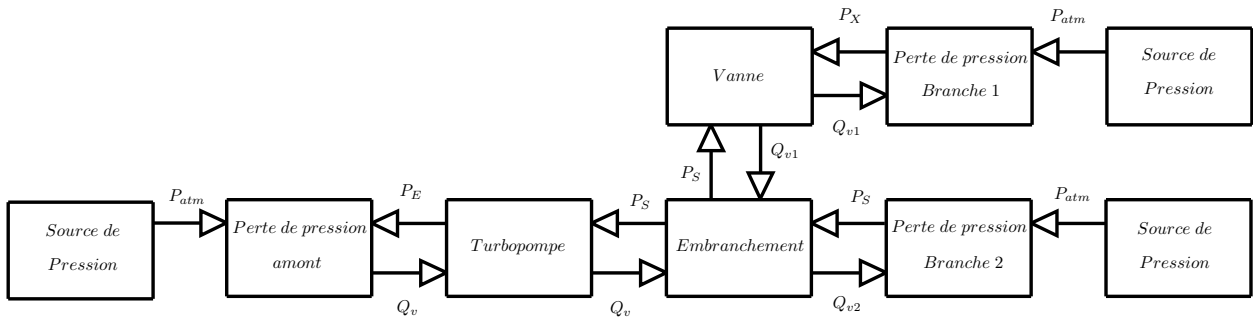


FIGURE 6 – Schéma des entrées et sorties du circuit représentant le circuit embranchement et vanne de réglage

12. Modifiez le circuit en respectant l'architecture représentée en figure 6. Pour la vanne on utilisera le composant de la bibliothèque hydraulique **HYDVORF0**³ (voir figure 7) pour lequel on spécifiera ces paramètres :
 - * Pressure drop definition method : dP/Q
 - * characteristic flow rate at maximum opening : $15L/min$

3. Il est possible que dans la version étudiante d'AMESim ce composant n'existe pas. Dans ce cas il faudra plutôt utiliser le composant **VOR006** pour lequel on spécifiera ces paramètres :

- * method of computation : pressure drop/ flow rate pair
- * characteristic flow rate at maximum opening : $15L/min$
- * corresponding pressure drop : $0,2bar$
- * on laissera tous les autres paramètres à leur valeur par défaut.

- ✱ *corresponding pressure drop* : 0,2bar
- ✱ on laissera tous les autres paramètres à leur valeur par défaut.

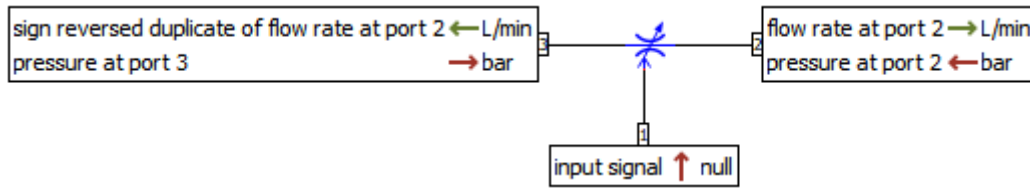


FIGURE 7 – Ports du composant AMESim **HYDVORT** représentant une vanne progressive de réglage de débit

Le signal qui rentre au port 1 (voir figure 7) de ce composant commande l'ouverture de la vanne. Pour une valeur de signal de 1 et plus, la vanne est complètement ouverte et générera une chute de pression de 0,2bar pour un débit de $15L/min$, cette perte étant fonction du débit. Pour un signal valant 0, la vanne sera complètement fermée. Pour un signal compris entre 0 et 1 l'ouverture sera partielle et la chute de pression calculée automatiquement en correspondance.

L'ajout de la vanne modifie les entrées/sortie du composant de perte de charge dans la ligne 1 et il faut donc modifier cette branche du circuit sous AMESim.

13. Pour un signal de commande de la vanne valant 1, déterminez les trois débits de l'installation.
14. Même question lorsque le signal de commande de la vanne est réglé à 0,25.

6 Pilotage de la vanne par régulateur proportionnel intégral

Dans cette partie nous allons rajouter une boucle de régulation proportionnelle intégrale pour régler le débit dans la branche 1 en pilotant la vanne de réglage.

Travail à réaliser :

15. Ajouter une boucle de régulation P.I. permettant de régler le débit dans la branche 1. Pour réaliser ce travail, on pourra s'inspirer du schéma du système avec bouche P.I. étudiée au cours des travaux pratiques visible en figure 8. On pourra prendre comme valeur de constante de la contribution proportionnelle $k_p = 50$ et pour valeur de la constante de contribution intégrale $k_i = 2$.

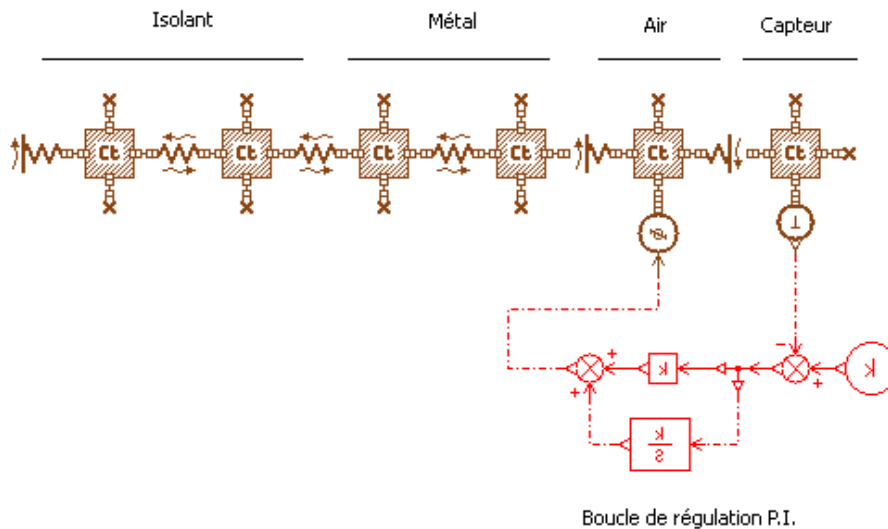


FIGURE 8 – Schéma de la boucle de régulation proportionnelle intégrale vue au cours des travaux pratiques.

16. Modifiez les paramètres de manière à régler le débit dans la branche 1 à $Q_{v1} = 7L/min$ et calculez le débit dans la pompe et le débit dans la branche 2.

Quelques résultats numériques

- Dans le circuit sans embranchement le débit va s'établir à $Q_v = 10,246L/min$.
- La marge à la cavitation dans le circuit de base vaut $6,07m$.
- Avec deux branches de longueurs égales à $40m$ le débit dans la pompe vaut $Q_v = 14,92L/min$.
- Avec une vanne de régulation pilotée assurant un débit dans la branche 1 de $Q_{v1} = 7L/min$, le débit dans la pompe vaut $Q_v = 13,46L/min$.