

SESSION 2020

**CAPET
CONCOURS EXTERNE
ET CAFEP CORRESPONDANT**

Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR

Option : INGÉNIERIE MÉCANIQUE

**ÉTUDE D'UN SYSTÈME, D'UN PROCÉDÉ OU D'UNE
ORGANISATION**

Durée : 4 heures

Calculatrice électronique de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

Si vous repérez ce qui vous semble être une erreur d'énoncé, vous devez le signaler très lisiblement sur votre copie, en proposer la correction et poursuivre l'épreuve en conséquence. De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, vous devez la (ou les) mentionner explicitement.

NB : Conformément au principe d'anonymat, votre copie ne doit comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé consiste notamment en la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de la signer ou de l'identifier.

INFORMATION AUX CANDIDATS

Vous trouverez ci-après les codes nécessaires vous permettant de compléter les rubriques figurant en en-tête de votre copie

Ces codes doivent être reportés sur chacune des copies que vous remettrez.

► **Concours externe du CAPET de l'enseignement public :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EDE	1414E	102	7048

► **Concours externe du CAFEP/CAPET de l'enseignement privé :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EDF	1414E	102	7048

Prévention des inondations : la Vanne Hydrodynamique Autonome

1. Introduction

Le réchauffement climatique pose un sérieux problème de résilience à l'écosystème, les équilibres climatiques habituels étant modifiés par l'augmentation des températures. Certains phénomènes deviennent plus violents, plus fréquents, plus imprévisibles. C'est le cas notamment des inondations, qui sont responsables chaque année de plusieurs centaines de millions d'euros de dégâts. L'urbanisation croissante accentue l'imperméabilisation des sols, et accélère les écoulements non-maîtrisés ce qui génère des coûts d'entretien et de traitement de plus en plus élevés. La figure 1 illustre les inondations dans la ville d'Antibes en novembre 2014.



Figure 1 : inondations d'Antibes, novembre 2014.

Ainsi, amoindrir la vulnérabilité du territoire face aux risques naturels ou technologiques fait partie d'une stratégie de développement durable qui prend en compte les changements déjà opérants ainsi que les changements inévitables à venir.

Fondée en 2014, et lauréate du prix Med'Innovant en 2015, la société F-Reg (Flow Regulation Systems) souhaite limiter le risque d'inondation urbaine par une meilleure gestion des eaux pluviales. La plupart des inondations sont causées par la saturation et le débordement des réseaux durant des épisodes de pluie de plus en plus intenses (voir figure 2). F-Reg répond à ce problème de manière simple et efficace en utilisant le volume des canalisations qui collectent les eaux de pluie pour ajouter à leur fonction d'évacuation une fonction de stockage temporaire. Elle conçoit et propose l'implantation de Vannes Hydrodynamiques Autonomes (VHA) sur le réseau des eaux pluviales.

Les Vannes Hydrodynamiques Autonomes agissent comme un frein hydraulique des écoulements dans les réseaux en stockant une partie du volume d'eau au sein des collecteurs au moment des pics de débit (voir figure 3). Elles la restituent en temps différé.

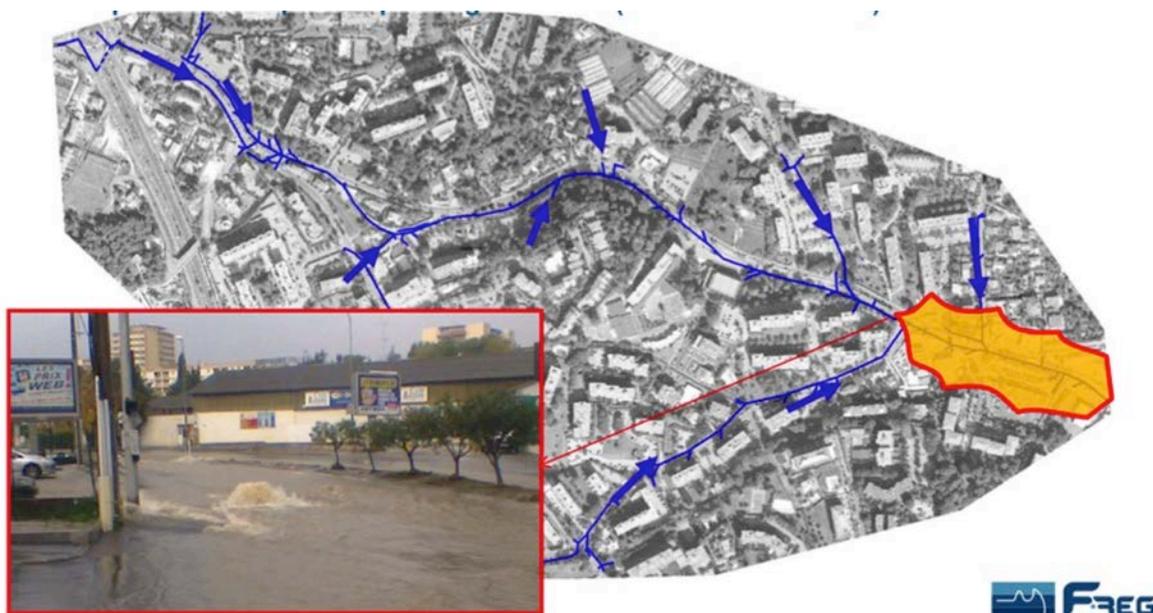


Figure 2 : illustration du principe d'inondation par déversement au point aval des réseaux d'eaux pluviales de la route de Grasse à Antibes. L'eau de pluie, collectée au niveau des différents collecteurs (flèches) n'est pas retenue et s'écoule vers le point le plus bas, causant la saturation du réseau et jaillissant des collecteurs aval.

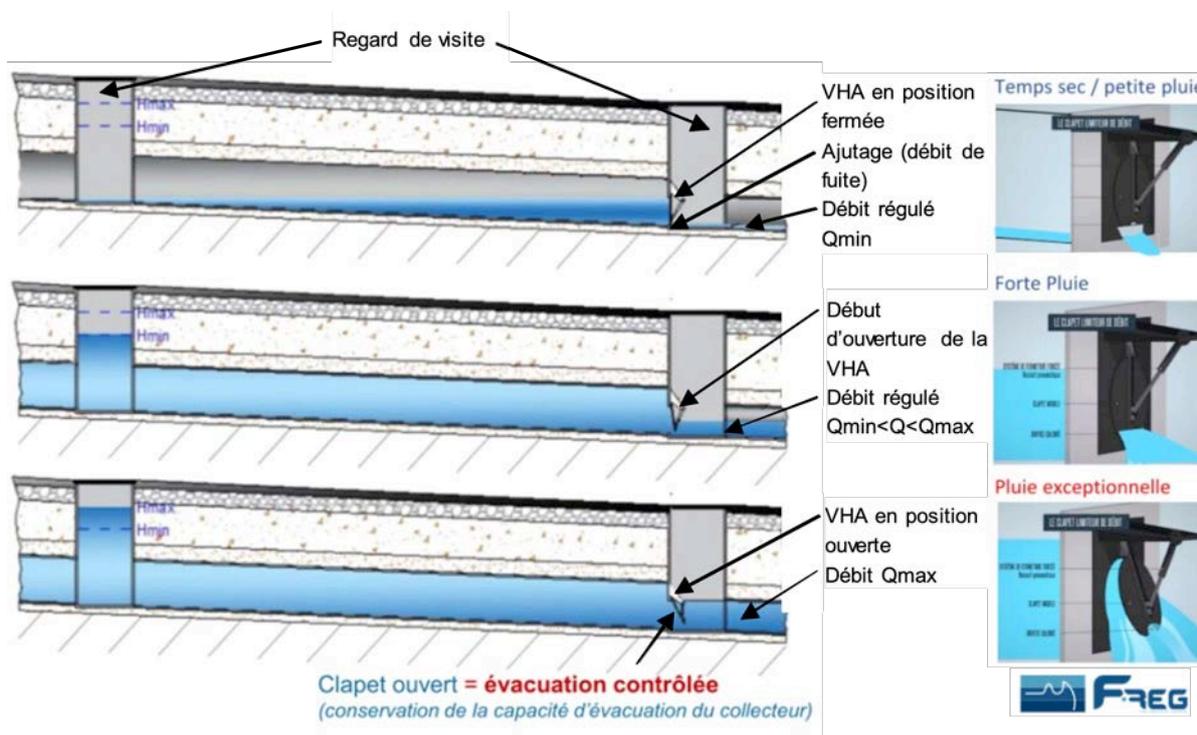


Figure 3 : principe de fonctionnement du stockage linéaire grâce à la VHA.

Les avantages de ce système sont :

- la facilité de mise en œuvre (installation dans un simple regard de visite) ;
- la maintenance simplifiée (plus de risque de colmatage ni d'obstruction, et sans conséquence sur l'écoulement de temps sec) ;

- l'adaptabilité à la topographie ;
- la mise en place du système sous la voirie sans nécessiter d'emprise foncière ;
- la réduction des coûts de 40 % par rapport à un bassin de rétention classique ;
- l'autonomie complète (aucun besoin en électricité ni supervision).

Un exemple d'implantation de VHA et de stockage d'eau correspondant est fourni en annexe 1.

Chaque VHA est conçue et dimensionnée sur-mesure pour s'adapter aux besoins liés à la topographie du terrain, à la géométrie des collecteurs déjà existants, aux choix d'implantation des différentes VHA et aux relevés hydrologiques de la zone étudiée. Le sujet aborde en premier lieu la pertinence de l'implantation de ces dispositifs dans l'écoquartier Smartseille afin de juguler une pluie décennale. En second lieu le dimensionnement des composants d'une vanne est validé afin de garantir les débits d'eaux pluviales imposés dans le cahier des charges. En troisième lieu le système de verrouillage est étudié afin de vérifier si un déverrouillage manuel est possible lors des opérations de maintenance. Enfin, une étude sur l'évolution de la VHA en vanne de chasse est proposée.

2. Implantation dans l'écoquartier Smartseille

2.1 Pertinence de l'implantation des VHA

L'objectif de cette partie est de valider la pertinence du dispositif pour juguler une pluie décennale dans l'îlot Allar de l'écoquartier Smartseille.

Smartseille est un projet immobilier démonstrateur de la ville durable méditerranéenne, porté par Euroméditerranée et réalisé par Eiffage. Situé au nord de Marseille à proximité du front de mer, il permet sur une superficie de 2,7 hectares d'expérimenter un modèle d'habitat durable et de tester des innovations technologiques et environnementales. Dès l'origine, Smartseille a été pensé et conçu pour répondre aux problématiques de densité urbaine, de mixité sociale, de qualité architecturale d'usage et de services, de performance environnementale et de rapport à l'espace public. Il a été décidé d'équiper le réseau d'eaux pluviales de VHA afin d'éviter les inondations en aval du secteur. L'étude proposée s'intéresse au réseau d'eaux pluviales de l'îlot Allar (voir figures 4 et 5).

Le relevé pluviométrique d'une pluie décennale pour ce site, fourni par Météo France, est donné figure 6. Il indique l'intensité de la pluie, soit le débit d'eau équivalent par mètre carré de surface en fonction du temps. On appelle surface active la surface équivalente de recueillement des eaux pluviales, prenant en compte l'absorption naturelle de l'eau par les divers sols. Pour l'îlot Allar, cette surface est estimée à 21 600 m².



Figure 4 : situation du quartier Smartseille. Au-dessus, l'îlot XXL, en cours de réhabilitation. Au-dessous, l'îlot Allar, livré en 2018.



Figure 5 : maquette de l'îlot Allar.

Question 1. Déterminer, à partir de la figure 6, le volume d'eau total généré par une pluie décennale.

La figure 7 représente le plan des canalisations d'eaux pluviales de l'îlot Allar, ainsi que les regards principaux. Les différentes caractéristiques des canalisations (collecteurs) sont données sur cette figure. On considère que les collecteurs sont de section cylindrique.

Question 2. En négligeant le volume des regards et en supposant que les collecteurs peuvent être totalement remplis, **estimer** le volume total de stockage potentiel de l'eau du réseau correspondant à l'îlot Allar.

Question 3. Conclure quant à la pertinence de la mise en place d'un dispositif de VHA au regard de l'objectif visé (voir le diagramme des exigences en annexe 2).

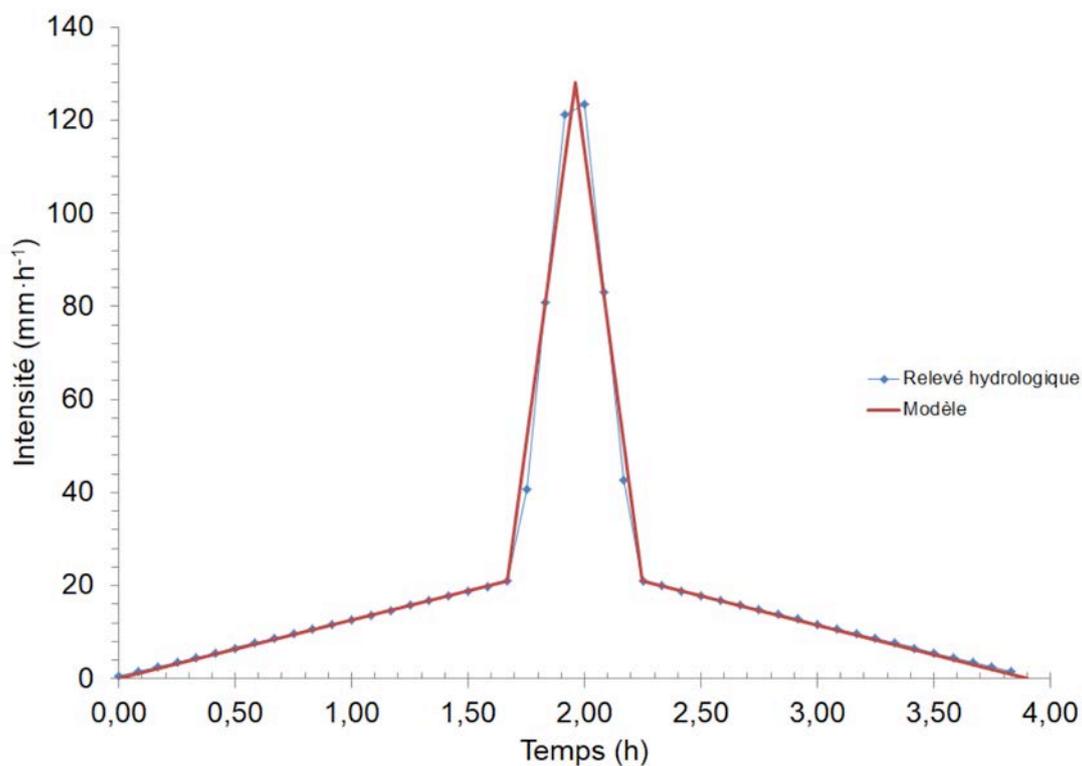


Figure 6 : intensité de précipitations pour une pluie décennale pour le site Allar, ainsi que le modèle associé à utiliser.

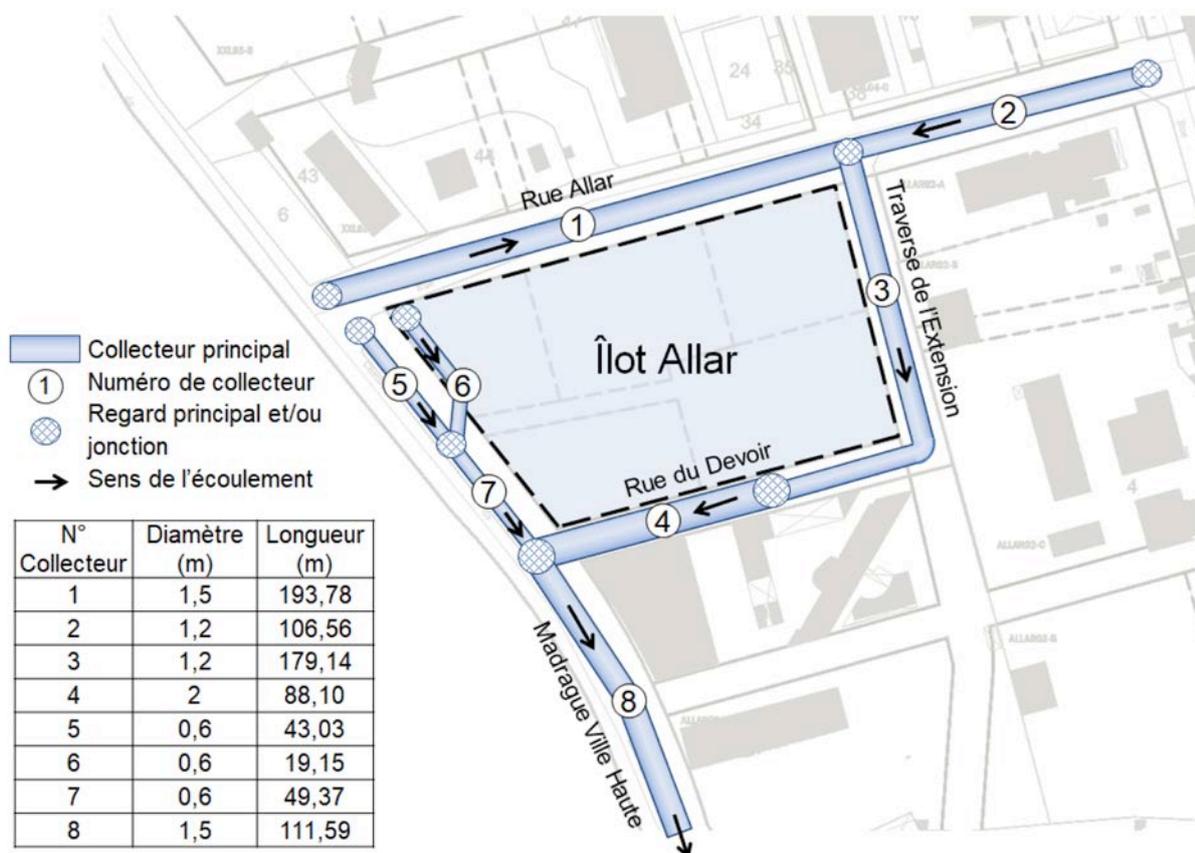


Figure 7 : plan des canalisations principales du réseau d'eaux pluviales de l'îlot Allar.

2.2 Choix des seuils et débits des VHA

L'objectif de cette partie est de choisir un scénario optimal des VHA afin d'endiguer les déversements (inondations) lors d'une pluie décennale dans l'îlot Allar de l'écoquartier Smartseille.

Les lieux d'implantation des VHA ont été choisis de manière à maximiser le volume d'eau potentiellement stockable dans les canalisations, à partir de la hauteur des regards existants et de la pente des canalisations. Ils peuvent correspondre à des regards secondaires, non représentés sur la figure 7 par souci de lisibilité. Ils sont décrits sur la figure 8. L'intelligence du système et la bonne capacité du dispositif à amortir les brusques apports d'eaux pluviales reposent sur des choix pertinents de débits minimal et maximal pour chaque VHA, qui influent sur la répartition des volumes d'eau stockés dans chaque collecteur.

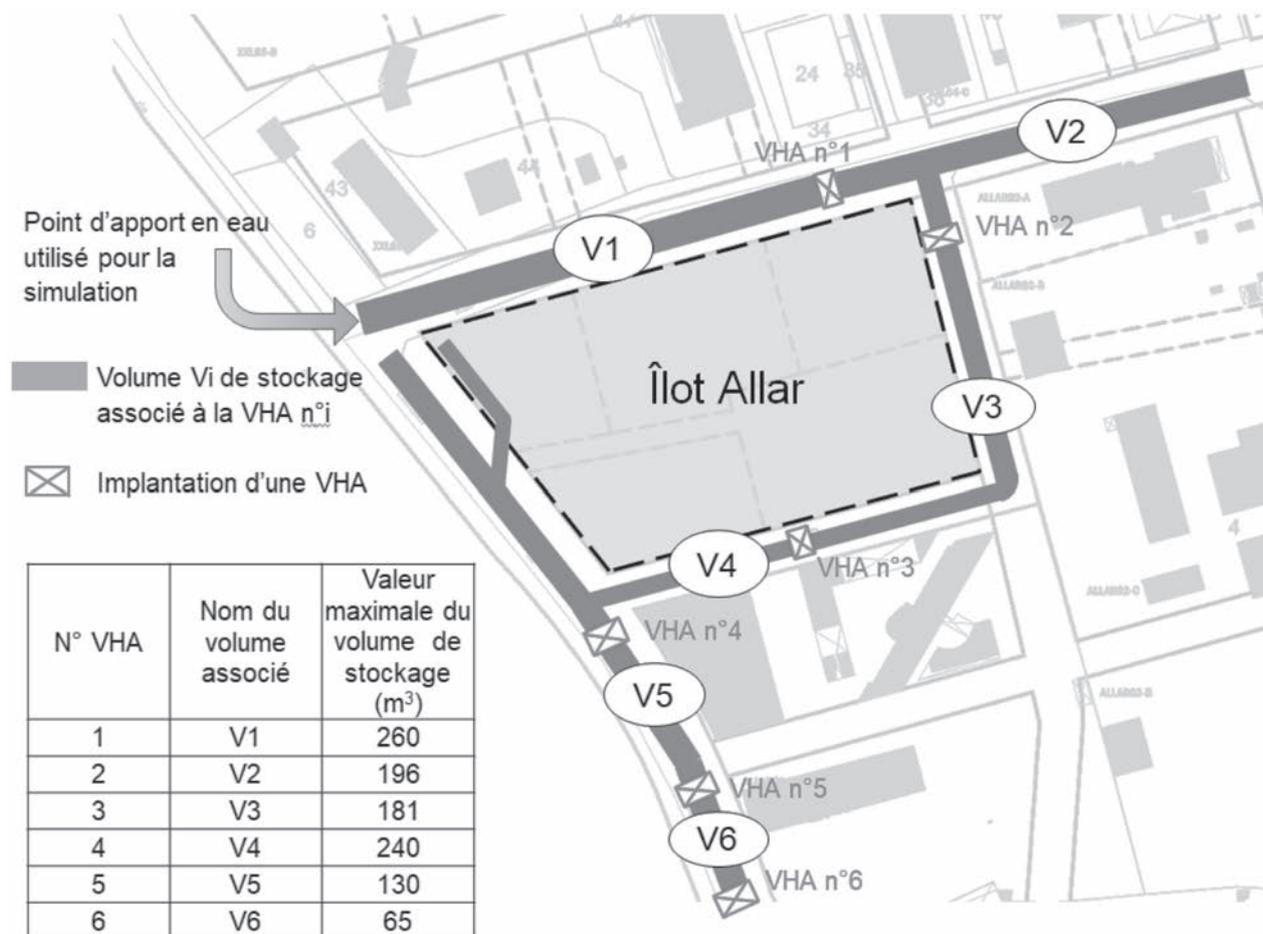


Figure 8 : lieux d'implantation des VHA, et les volumes de stockage associés.

Le diagramme des exigences pour l'îlot Allar est défini en annexe 2.

Dans le but de simuler l'évolution des volumes d'eau dans chaque collecteur, un modèle multiphysique, non représenté ici, a été élaboré. La simulation a été faite pour une pluie décennale et avec 3 scénarios différents. Chaque scénario est défini par des choix de débits Q_{max} et Q_{min} pour chaque VHA.

Question 4. Dans ce modèle, l'intégralité de l'apport en eau de pluie est apportée en amont de toutes les canalisations (voir figure 8). **Indiquer** si cette situation est favorable ou défavorable vis-à-vis de la validation de l'exigence 1.1.1. **Indiquer** une raison qui a mené le constructeur à faire ce choix pour son modèle.

Les résultats pour trois scénarios différents sont obtenus en annexe 3. Ils montrent l'évolution des différents volumes d'eau dans les collecteurs en fonction du temps, ainsi que le débit de sortie final instantané au niveau de la VHA n°6.

Question 5. Déterminer quel(s) scénario(s), parmi ceux proposés, permet(tent) de valider le cahier des charges. **Justifier** la réponse.

3. Étude d'une Vanne Hydrodynamique Autonome

3.1 Description

Le cahier des charges de la VHA n°4 (partie précédente) est donné en annexe 2. Pour satisfaire ce cahier des charges, les concepteurs ont fait le choix d'un battant mobile motorisé par deux vérins pneumatiques articulés sur un support (voir figure 9). Le battant mobile est conçu de manière à garantir un écoulement minimal dans la conduite grâce à un orifice calibré (ajutage). Le système de verrouillage, qui permet le déverrouillage manuel depuis la surface, est étudié dans la partie 4. En position déverrouillée, le battant mobile est laissé libre.

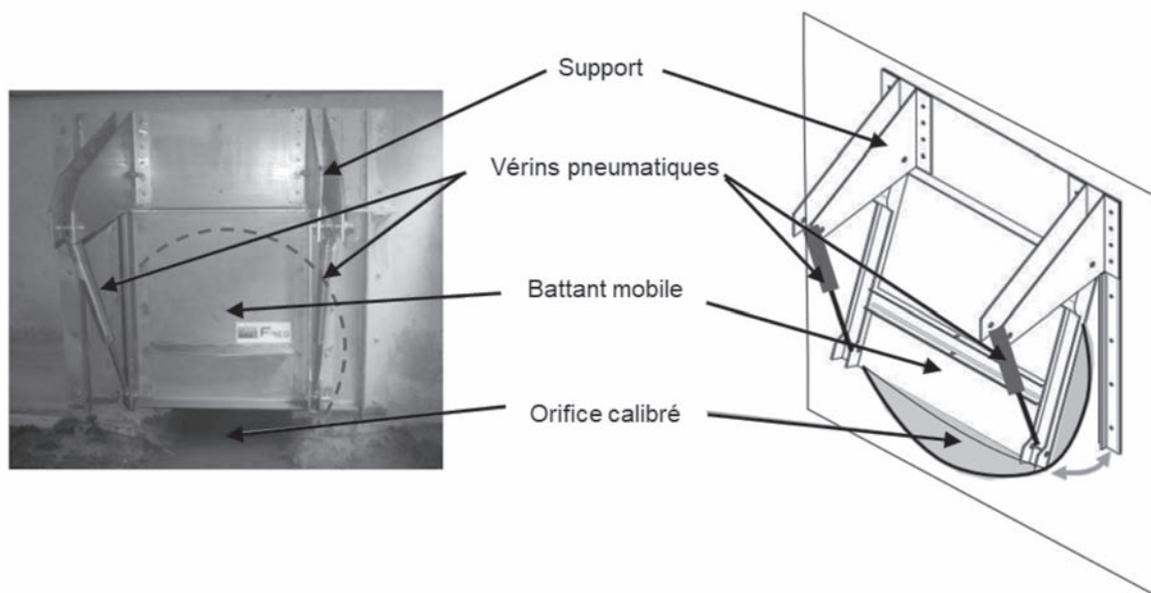


Figure 9 : une Vanne Hydrodynamique Autonome. Le système de verrouillage n'est pas représenté.

Un module communicant à distance (voir figure 10, non étudié) associé à un capteur TOR permet d'informer les exploitants de la position (ouverte ou fermée) du battant mobile à tout instant. Il fonctionne sur accumulateurs.

Lors d'un temps sec ou d'une très faible pluie, le débit est inférieur au débit de fuite permis par l'ajutage. Seule la fonction d'évacuation du collecteur est utilisée. Lorsque le débit augmente (pluie faible), mais que la hauteur d'eau minimale H_{\min} dans le collecteur n'est pas atteinte, la vanne reste fermée (voir figure 3). Le débit de fuite (par l'ajutage) étant inférieur au débit d'eau de pluie, la VHA permet de stocker un volume d'eau dans le collecteur. Les deux fonctions (évacuation et stockage) sont alors réalisées. Lorsque la hauteur minimale H_{\min} est atteinte, la VHA commence à s'ouvrir et permet de réguler le débit d'eau transitant vers le réseau aval. En cas de très forte pluie, lorsque la hauteur H_{\max} est atteinte, la VHA est ouverte à son maximum, permettant l'évacuation maximale du collecteur tout en s'assurant que le débit ne soit pas supérieur au débit maximal aval. La figure 11 montre la définition de la hauteur d'eau par rapport à l'implantation de la vanne.



Figure 10 : implantation du module communicant sur la VHA DN400.

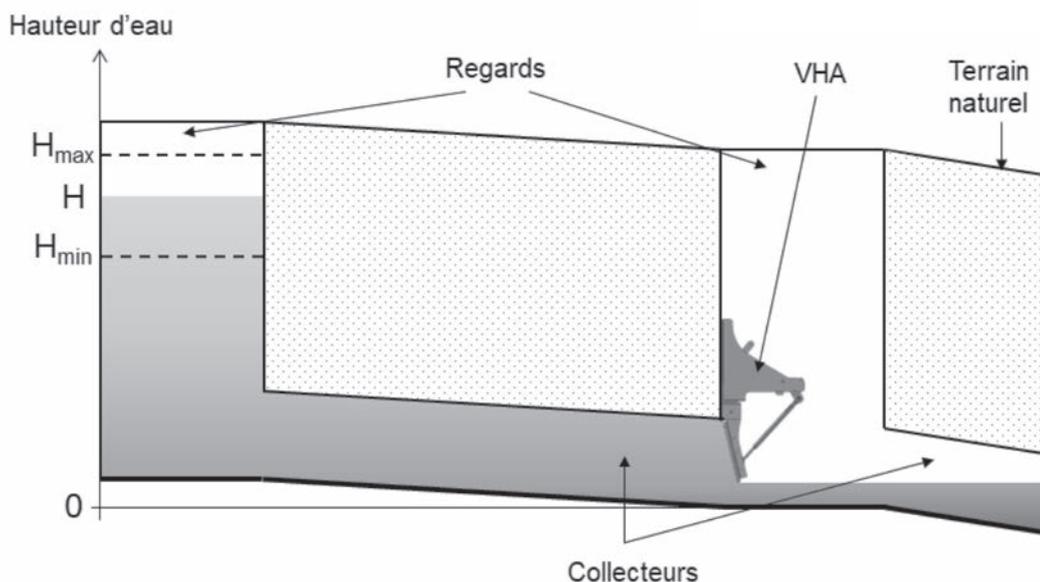


Figure 11 : définition des hauteurs d'eau et schéma d'implantation de la vanne dans les collecteurs.

3.2 Validation du débit maximal

L'objectif est de vérifier que le vérin choisi et la géométrie de la vanne permettent d'assurer le débit maximal des eaux pluviales.

Une modélisation cinématique et le paramétrage associé de la VHA est proposée en annexe 4.

Question 6. À partir de la documentation technique située en annexe 5, **indiquer** les longueurs minimale et maximale du vérin {2, 3}.

Question 7. Écrire la fermeture géométrique de la chaîne de solides {0, 1, 2, 3, 0}. En **déduire** la loi entrée-sortie du mécanisme $\lambda = f(\theta)$.

Question 8. Le débit maximal de la canalisation est atteint lorsque l'angle d'ouverture du battant vaut $\theta_{\max} = 25^\circ$. **Déterminer** si cette valeur peut être atteinte avec le vérin choisi (voir la documentation technique en annexe 5). **Justifier** la réponse.

3.3 Validation de la courbe de tarage

L'objectif est de vérifier que l'exigence 2.1 est validée.

L'exigence 2.1 définit les seuils et débits de début d'ouverture et d'ouverture maximale en fonction de hauteurs d'eau souhaitées dans les regards. Ces seuils sont primordiaux pour le bon fonctionnement du stockage et de restitution différée des eaux pluviales de la VHA, et sont liés à la fois à la géométrie de la VHA et au choix des vérins pneumatiques. Les vérins pneumatiques se comportent ici comme des ressorts de compression à gaz. La vanne devant être maintenue fermée jusqu'à une certaine hauteur d'eau, il est nécessaire que les vérins exercent un effort non nul en position vanne fermée. Pour cela, une précharge est installée. Le choix de cette précharge, associée au choix du vérin, permet à la vanne de réguler son débit en fonction de la hauteur d'eau.

3.3.1 Détermination de la précharge

On souhaite donc dans cette partie proposer une valeur de précharge qui permette d'assurer l'ouverture progressive de la vanne selon les hauteurs d'eau minimale et maximale souhaitées.

On se place en position fermée, comme représenté sur la figure 12. Dans cette position, l'angle α est à sa valeur minimale, soit 41° , et la longueur de vérin λ est égale à 588 mm. Le système est symétrique, le modèle est considéré comme plan.

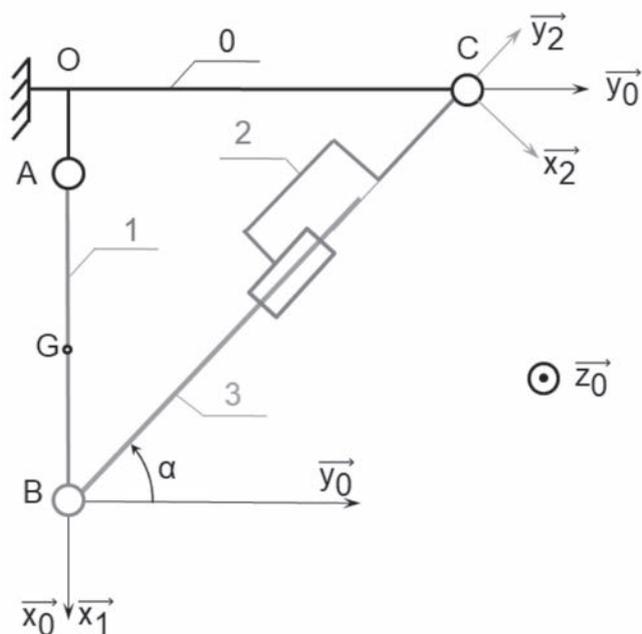


Figure 12 : schéma de la vanne en position fermée.

Le poids des différentes pièces est négligé devant les efforts mis en jeu. L'effort exercé par l'eau sur le battant mobile F_e au

point G (voir figure 12), lorsque la hauteur d'eau correspond à l'ouverture de vanne ($H = H_{\min} = 1,81 \text{ m}$), vaut $4\,630 \text{ N}$ et est dirigé selon \vec{y}_0 .

On note F_1 la précharge à installer dans chacun des vérins. Elle correspond à l'effort fourni par le vérin lorsqu'il est en position totalement déployée, indépendamment de la position de la VHA. On notera que cette précharge est propre au vérin, elle est définie par le constructeur du vérin et ne correspond pas à la position vanne fermée.

On note k la raideur d'un vérin, et λ_1 sa longueur maximale. On note F_{V1} la valeur algébrique de l'effort exercé par un seul des vérins sur le battant mobile, et \vec{F}_V l'effort exercé par l'ensemble des deux vérins sur le battant mobile. Les frottements internes aux vérins sont négligés, les liaisons sont considérées comme parfaites.

Question 9. Montrer, en précisant le(s) solide(s) isolé(s), que l'action des vérins sur le battant mobile \vec{F}_V est dirigée selon \vec{y}_2 .

Question 10. Déterminer, en détaillant la méthode utilisée, l'effort que doivent fournir les vérins pour assurer l'équilibre en position fermée lorsque la hauteur d'eau correspond à la hauteur minimale H_{\min} .

Question 11. Exprimer F_{V1} en fonction de F_1 , k , λ_1 et λ , puis en fonction de $\|\vec{F}_V\|$ l'effort des vérins sur le battant mobile.

Pour les ressorts à gaz (vérins), la raideur k est liée à la valeur de précharge F_1 et à la course $\Delta\lambda$ par la relation

$$k = \frac{0,5 F_1}{\Delta\lambda}$$

Question 12. Déterminer la précharge F_1 à installer pour le vérin choisi (voir annexe 5). **Conclure** quant à la compatibilité de cette précharge par rapport au vérin.

3.3.2 Choix des vérins

La raideur étant complètement déterminée par le choix précédent de précharge, l'effort maximal en fin d'ouverture, imposé par les vérins au battant, ne permet pas de compenser exactement l'effort de l'eau pour le niveau maximal H_{\max} . La figure 13 montre l'évolution de l'effort théorique idéal qu'un vérin doit imposer pour compenser exactement l'effort de l'eau en fonction de l'angle d'ouverture de la vanne, ainsi que les efforts imposés par trois vérins différents (la précharge de chacun de ces vérins ayant été auparavant calculée).

Question 13. On rappelle que le vérin choisi par le constructeur est le ST350. **Justifier** ce choix. **Conclure** quant à la validation de l'exigence 2.1 du cahier des charges.

Le relevé expérimental de la courbe de tarage de la VHA, décrivant l'évolution du débit d'eau en fonction de la hauteur d'eau dans le collecteur, est finalement réalisé. Le résultat est donné en figure 14.

Question 14. Commenter l'allure de la courbe obtenue, en interprétant et justifiant les différentes phases.

Question 15. Conclure quant à la validation du cahier des charges. **Justifier** la réponse.

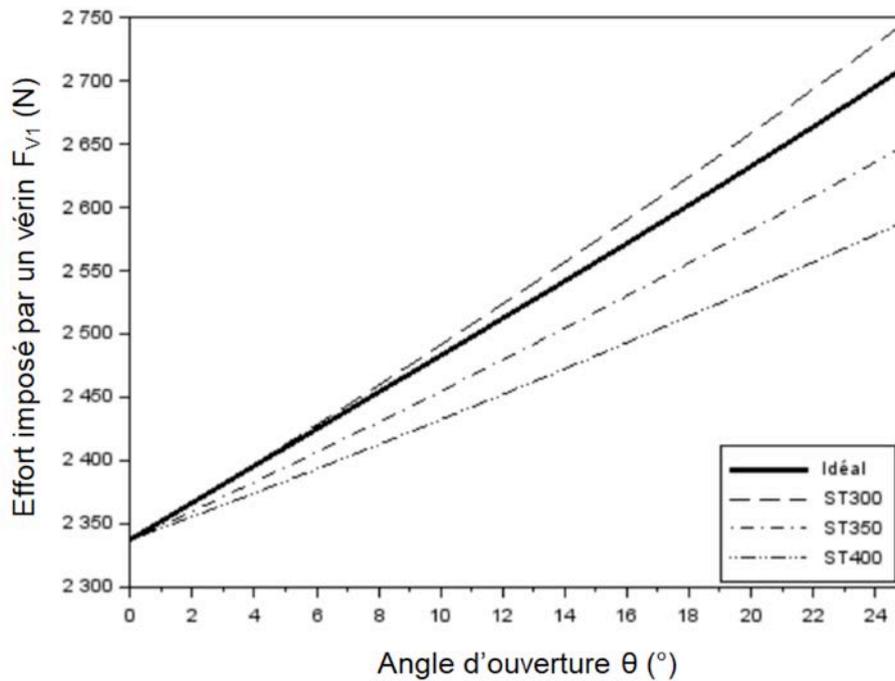


Figure 13 : effort imposé par un vérin en fonction de l'angle d'ouverture de la vanne.

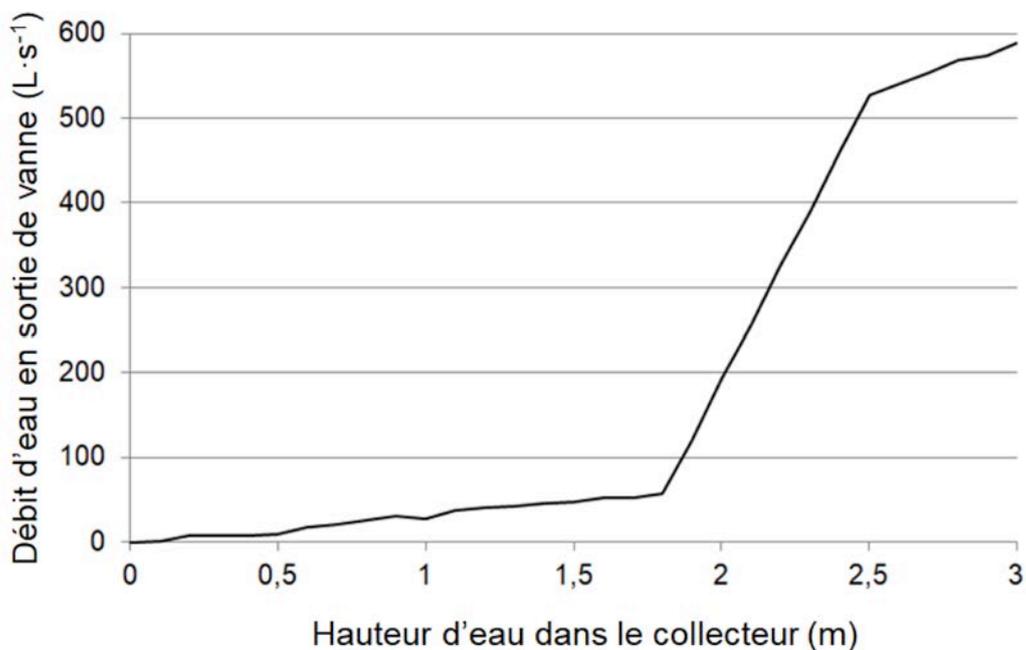


Figure 14 : courbe de tarage expérimentale de la vanne.

3.4 Validation du dimensionnement des supports

L'objectif est de vérifier que l'exigence 2.3.1 est validée.

3.4.1 Prédimensionnement

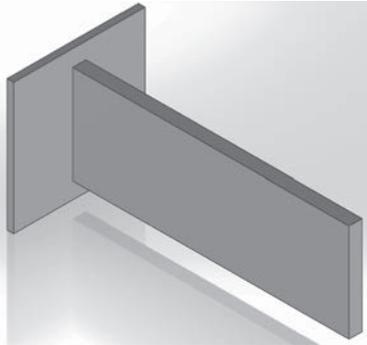


Figure 15 : modèle simplifié du support du battant

Afin de concevoir les supports du battant, on s'intéresse dans un premier temps à une géométrie simple (voir figure 15). On considère le support du battant comme une poutre, encadrée à une extrémité et soumise à un effort ponctuel à l'autre extrémité (voir figure 16). Les différentes pièces de la vanne étant en contact avec de l'eau, le matériau choisi est de l'acier inoxydable 316L.

Dans ce paragraphe, on utilise la théorie des poutres de Bernoulli pour modéliser le comportement du support.

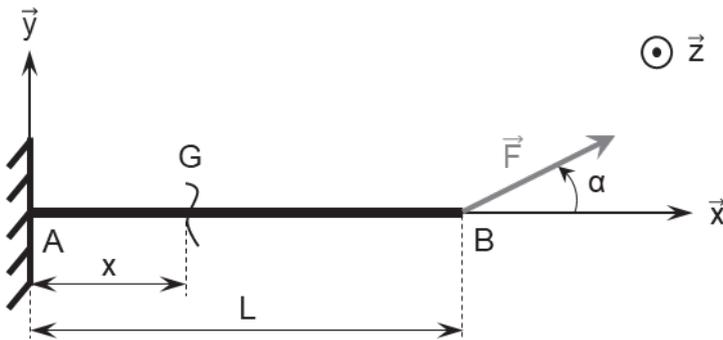


Figure 16 : modèle poutre du support du battant

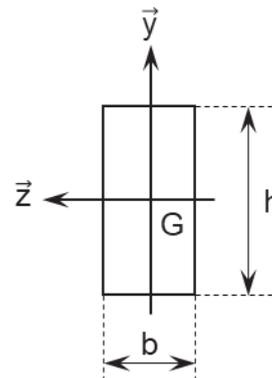


Figure 17 : section de la poutre

On rappelle le cahier des charges : le déplacement maximal en bout de support est $f_{lim} = 0,5 \text{ mm}$.

Données

- dimensions de la poutre : $L = 467 \text{ mm}$, $b = 20 \text{ mm}$, $h = 150 \text{ mm}$;
- moment quadratique : $I_{Gz} = \frac{bh^3}{12} = 5\,625\,000 \text{ mm}^2$;
- matériau acier inoxydable AISI 316L : limite élastique $Re = 200 \text{ MPa}$, coefficient de sécurité $s = 2,2$, module de Young $E = 1,8 \cdot 10^5 \text{ MPa}$;
- $F = 2\,000 \text{ N}$;
- $\alpha = 30^\circ$.

Question 16. Écrire le torseur des actions mécaniques de cohésion le long de la poutre.

Question 17. Déterminer à quelle(s) sollicitation(s) est soumise cette poutre.

Les déformations dues à la traction sont négligées.

Question 18. Exprimer la contrainte normale maximale dans une section $\sigma(x)$ en fonction du moment fléchissant $M_{fz}(x)$. Préciser dans quelle section le moment fléchissant est maximal. En déduire la contrainte maximale $|\sigma_{\max}|$ dans la poutre et conclure.

Question 19. Pour réaliser ce premier dimensionnement du support de vanne, les effets dus à la traction ont été négligés. Déterminer l'expression de la contrainte normale $\sigma(x)$ uniquement due à la traction en fonction de l'effort F et des différentes données du problème. Puis, justifier que l'hypothèse formulée est valide.

Question 20. Déterminer l'expression de la déformée le long de la poutre et en déduire la flèche maximale. Conclure quant au respect du critère de flèche maximale admissible.

3.4.2 Modèle optimisé

Le modèle simplifié étudié précédemment induit une contrainte qui varie le long de la poutre. La solution choisie par le constructeur est un assemblage de 2 tôles pour chaque support, dont la forme est optimisée afin d'avoir une valeur de contrainte la plus constante possible dans la pièce.

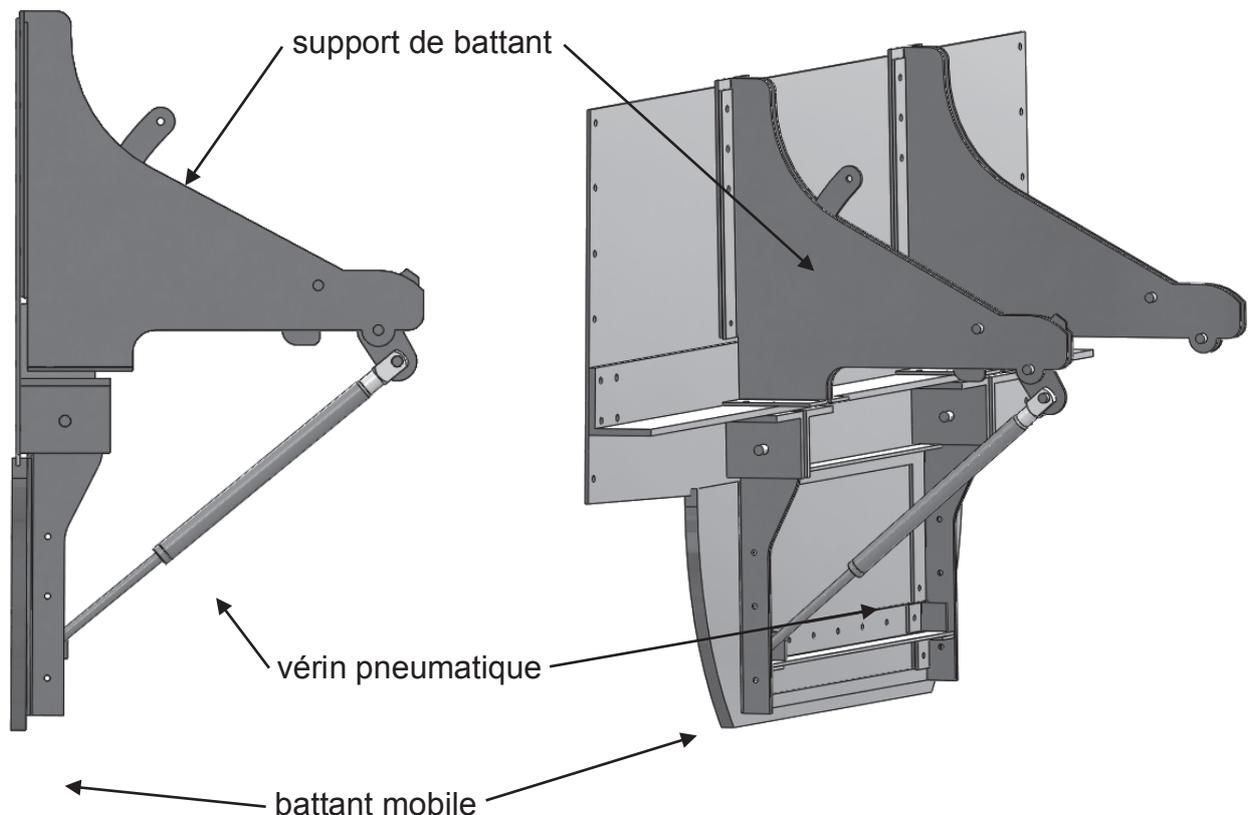


Figure 18 : assemblage de la vanne

Afin de valider le dimensionnement du support, une simulation numérique utilisant la méthode des éléments finis est réalisée.

Question 21. À partir du modèle poutre présenté figure 16, **indiquer** sur le document réponse les conditions aux limites nécessaires à la simulation par éléments finis.

Question 22. Le résultat d'une simulation par éléments finis est donné en annexe 6. On considère un coefficient de sécurité $s = 2,2$. **Conclure** quant à la validité du dimensionnement du support.

4. Étude du système de verrouillage

Lors des opérations de maintenance sur le réseau, ou en cas de blocage intempestif lors d'épisodes pluvieux, il est nécessaire de pouvoir laisser libre le battant mobile de la vanne. Pour cela, un système de verrouillage est installé sur chaque vanne. Les exigences associées sont explicitées dans l'annexe 2. Le système est actionné manuellement (ou système de verrouillage désactivé) depuis la surface du terrain.

L'objectif est de vérifier que le déverrouillage manuel du battant est possible.

Le système de verrouillage est implanté au niveau des deux liaisons pivot entre le support et les vérins (voir figures 19 et 20). Les deux mécanismes sont identiques et sont chacun constitués d'une came (4) et d'une pièce de mise en pression (5).

Le corps du vérin (2) est en liaison pivot d'axe (C, \vec{z}_0) avec la pièce de mise en pression (5), laquelle est elle-même en liaison pivot d'axe (J, \vec{z}_0) avec le support (0). La came est en liaison pivot d'axe (D, \vec{z}_0) avec le support (0).

En position verrouillée, la came (4) est en contact avec la pièce de mise en pression (5) au niveau du point E, ce qui l'empêche de pivoter sous l'effet de l'action du vérin (voir figure 20.a). Le déverrouillage s'effectue par une action verticale sur la came, en F, via un câble et à partir de la surface du terrain. La came (4) pivote et libère la pièce de mise en pression (voir figure 20.b). Sous l'action du vérin celle-ci vient alors brutalement en contact avec la came au niveau du point H (voir figure 20.c). La tige de vérin peut alors sortir de sa cage et libère le battant. Le vérin reste alors libre et détaché complètement du battant.

Le verrouillage nécessitera ensuite une opération manuelle pour replacer l'extrémité de la tige de vérin dans sa cage.

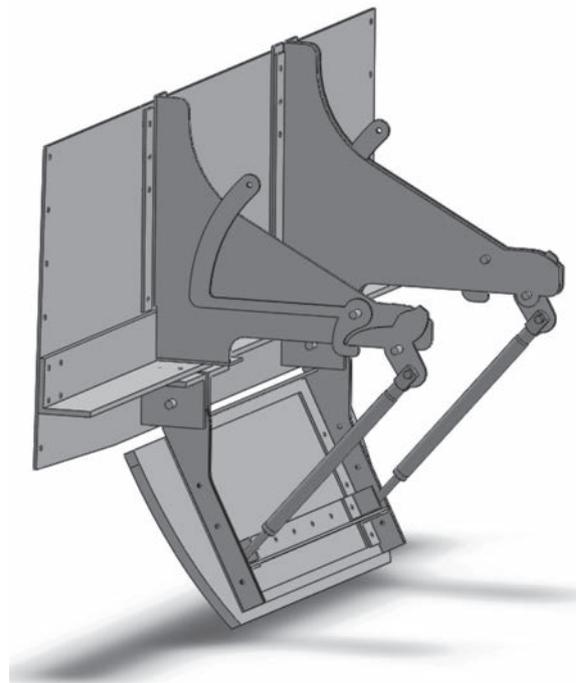


Figure 19 : système de verrouillage

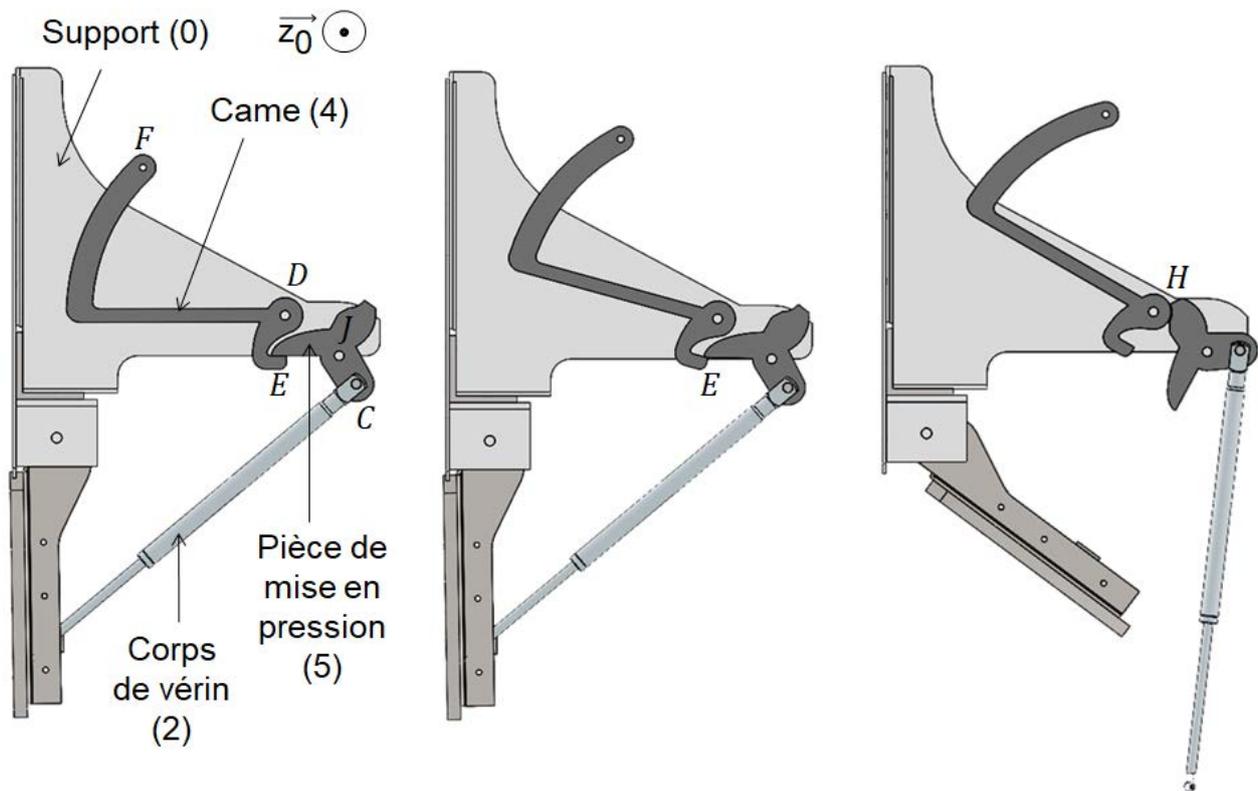


Figure 20.a : position verrouillée.

Figure 20.b : phase de déverrouillage.

Figure 20.c : position déverrouillée.

On se placera en modélisation plane, conformément au modèle proposé en figure 21. Le paramétrage est donné sur cette même figure. L'objectif est de déterminer l'effort vertical à appliquer en F afin de provoquer le déverrouillage.

Le poids des différentes pièces est négligé devant les autres efforts.

L'action exercée par l'opérateur pour déverrouiller la vanne est modélisée par un glisseur vertical appliqué en F , noté $\vec{F}_{op} = -F_{op} \cdot \vec{x}_0$

L'action exercée par le corps de vérin (2) sur la pièce de mise en pression (5) est modélisée par un glisseur \vec{F}_v de norme égale à 4 000 N, correspondant à l'effort nécessaire pour maintenir la vanne fermée sous une hauteur d'eau de 2 m.

Le contact en E entre la came (4) et la pièce de mise en pression (5) est supposé avec frottement, de coefficient de frottement $f = \tan(\varphi) = 0,2$. L'effort de la pièce (5) sur la came (4) est noté $\vec{F}_{5 \rightarrow 4}$. Les autres liaisons sont considérées comme parfaites.

Question 23. Justifier l'usage d'une modélisation plane pour cette étude.

Question 24. Déterminer si le système peut être à l'équilibre, lorsque le mécanisme est en position verrouillée et sans aucune action de l'opérateur sur la came (4). **Justifier**, notamment en analysant l'équilibre du solide (4) (aucun calcul n'est attendu). **Préciser** dans ce cas quelle devrait être la position du point E .

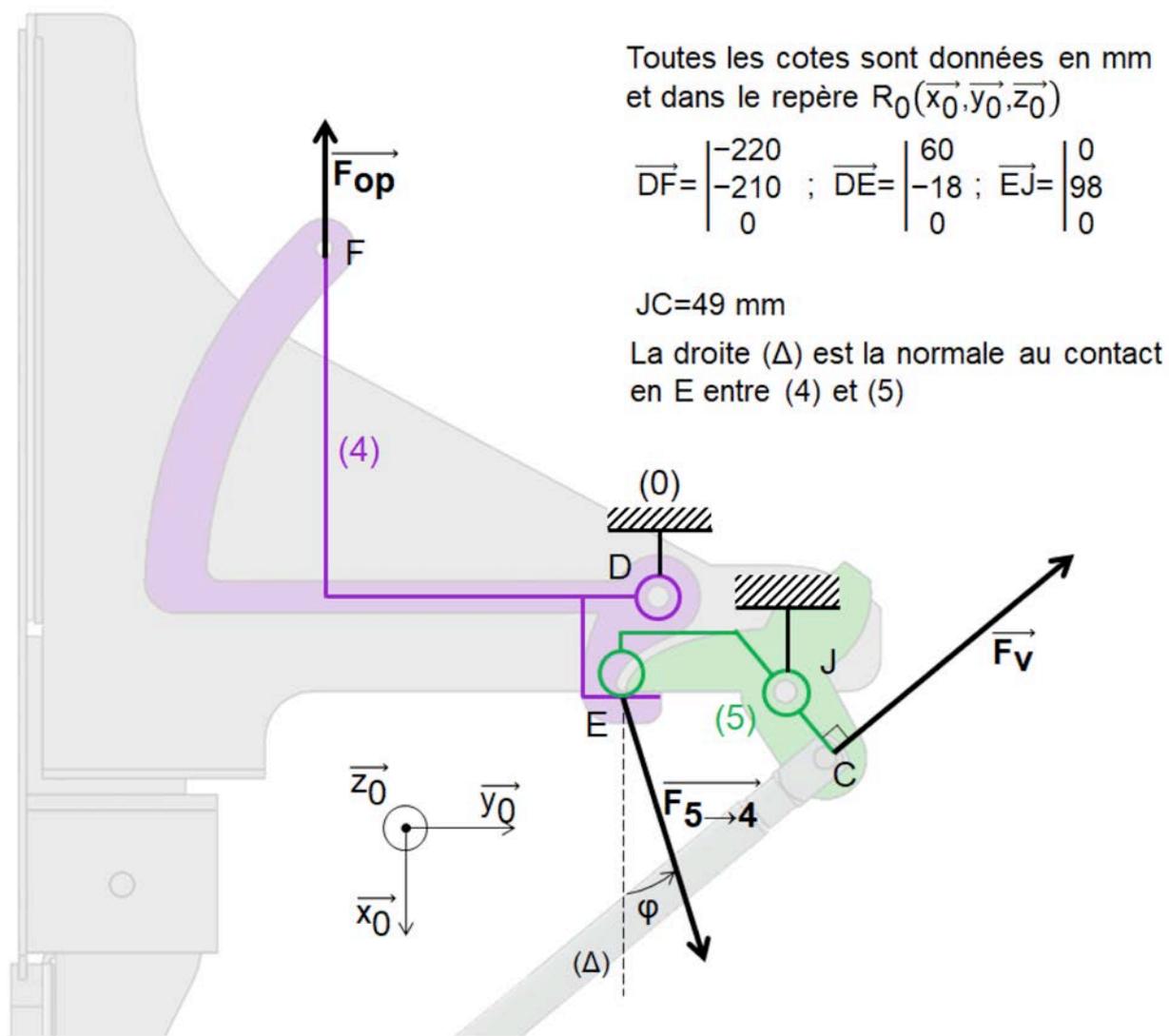


Figure 21 : schéma du système de verrouillage.

On considère que l'instant le plus défavorable correspond à celui décrit en figure 20.b, c'est-à-dire à la limite du glissement en E entre la came (4) et la pièce de mise en pression (5), juste avant la rupture du contact. Ainsi on peut supposer que :

$$\overrightarrow{F_{5 \rightarrow 4}} = F_{5 \rightarrow 4} \cdot \cos\varphi \cdot \vec{x}_0 + F_{5 \rightarrow 4} \cdot \sin\varphi \cdot \vec{y}_0$$

Question 25. Isoler la pièce de mise en pression (5), en **déduire** l'action $\overrightarrow{F_{4 \rightarrow 5}}$ de la came (4) sur la pièce (5) en E. **Préciser** le théorème ainsi que l'équation utilisés.

Question 26. Isoler la came (4), et **déterminer** l'action $\overrightarrow{F_{op}}$ d'un opérateur sur la came (4) nécessaire au déverrouillage. **Préciser** le théorème ainsi que l'équation utilisés.

Question 27. Conclure quant au respect du cahier des charges concernant le déverrouillage manuel de la vanne.

5. Évolution de la VHA en vanne de chasse

Le constructeur souhaite proposer en complément l'implantation d'une vanne de chasse, en situation aval, afin de nettoyer et purger le réseau. Le principe de fonctionnement de cette vanne de chasse est son ouverture brutale et totale à partir d'une certaine hauteur d'eau, en moins de 1 s, afin que les turbulences générées évacuent les déchets des canalisations.

L'objectif de cette partie, à partir des caractéristiques d'inertie de la vanne (difficilement modifiables), est de proposer une géométrie de la vanne qui permette d'obtenir ce comportement.

On considère le paramétrage donné en annexe 4. Le modèle proposé est plan, dans le plan $(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0)$ où \vec{x}_0 est la verticale descendante. On note :

- I_A le moment d'inertie du battant mobile par rapport à l'axe (A, \vec{z}_0) ;
- S la surface du battant mobile au contact de l'eau, $S = 0,337 \text{ m}^2$;
- m la masse du battant mobile, $m = 64,4 \text{ kg}$;
- H_{\max} la hauteur d'eau limite provoquant l'ouverture de la vanne, $H_{\max} = 2 \text{ m}$;
- g l'accélération de la pesanteur $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$;
- ρ la masse volumique de l'eau $\rho = 1\,000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$;
- p la pression de l'eau sur le battant, supposée constante et égale à $p = \rho\cdot g\cdot H_{\max}$.

Les masses et inerties des pièces autres que le battant mobile (vérin notamment) sont négligées. Les différentes liaisons sont considérées parfaites.

On suppose que le centre de poussée de l'action de l'eau sur le battant mobile est confondu avec son centre de gravité G .

Le niveau de l'eau est considéré comme constant le temps de l'ouverture de la vanne, ainsi l'action de l'eau sur le battant mobile est modélisée par un glisseur \vec{F}_e de norme constante appliqué au point E et tel que $\vec{F}_e = F_e \cdot \vec{y}_1$.

L'action exercée par le vérin sur le battant mobile est modélisée par un glisseur \vec{F}_v , de norme $\|\vec{F}_v\| = F_v(\lambda) = F_0 - k \cdot (\lambda - \lambda_0)$ où F_0 est l'effort exercé par le vérin lorsque la vanne est en position fermée ($\theta = 0$), λ_0 sa longueur pour $\theta = 0$, et k sa raideur.

Question 28. Indiquer, à partir de l'annexe 7, la valeur numérique du moment d'inertie I_A du battant mobile par rapport à l'axe (A, \vec{z}_0) .

Question 29. Déterminer l'expression de l'action de l'eau sur le battant, **indiquer** sa valeur numérique.

Question 30. Déterminer quelle(s) hypothèse(s) permet(tent) d'affirmer que l'action du vérin sur le battant mobile \vec{F}_v est toujours dirigée selon \vec{y}_2 . **Justifier**.

Question 31. Montrer, en précisant le (ou les) solide(s) isolé(s), le théorème ainsi que la (ou les) équation(s) utilisée(s), que l'angle θ vérifie l'équation différentielle suivante :

$$I_A \cdot \ddot{\theta} = d \cdot F_e - c \cdot F_v(\lambda) \cdot \cos(\theta - \alpha) - m \cdot g \cdot d \cdot \sin\theta$$

Quels que soient les paramètres géométriques a et b , la vanne est toujours dimensionnée pour que le battant soit à l'équilibre en position fermée ($\theta = 0$) pour $H \leq H_{\max}$. Le battant est alors en appui sur la surface du collecteur.

À la limite de l'équilibre, c'est-à-dire lorsque $H = H_{\max}$, on considère que le battant n'est plus en appui sur le collecteur mais que l'on a $\theta = 0$.

Question 32. Indiquer ce que devient l'équation précédente dans ces conditions.

Question 33. Afin d'obtenir une ouverture totale et brutale dès que le niveau d'eau dans le collecteur dépasse la valeur limite ($H > H_{\max}$), **déterminer** quel doit être le signe de $\ddot{\theta}$ en toute position.

Lors de l'étude géométrique il a été montré que la longueur du vérin λ ainsi que l'angle α dépendent tous deux de l'angle θ . Ainsi, il est possible de tracer l'évolution de $\ddot{\theta}$ en fonction de θ , pour différentes valeurs des paramètres géométriques a et b de la vanne (donc pour différents profils de vanne). Les résultats sont présentés en figure 22.

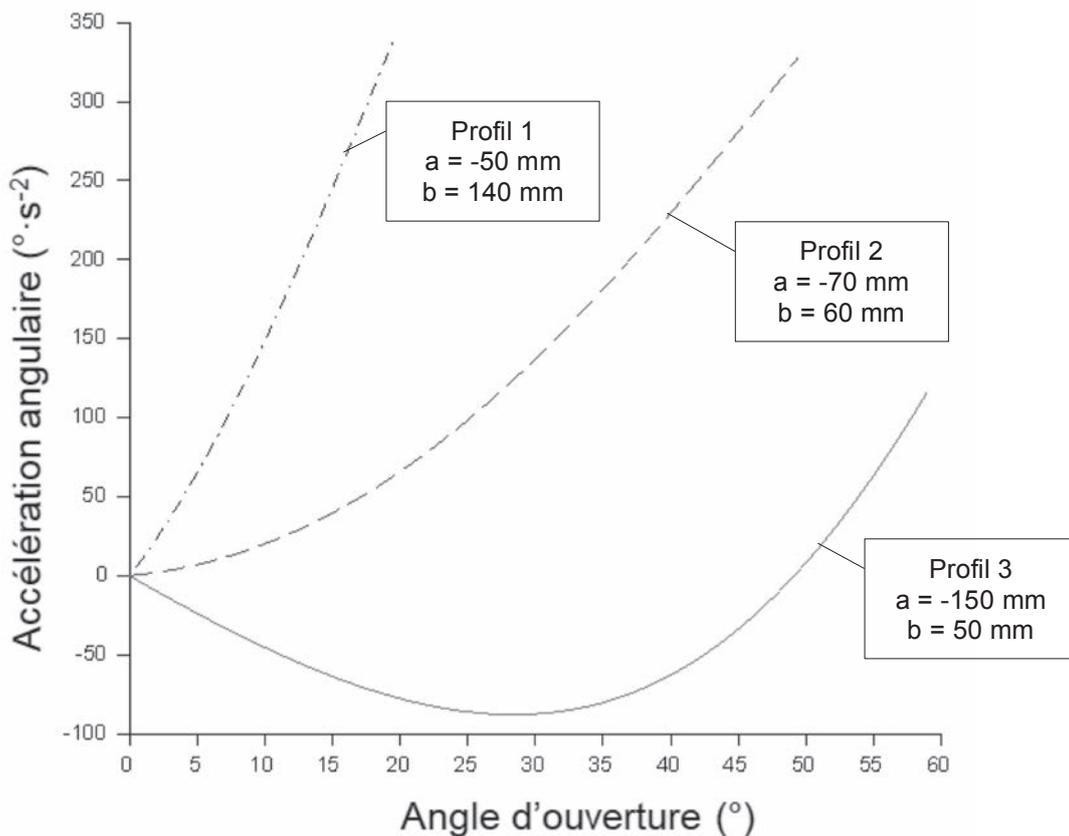


Figure 22 : accélération angulaire en fonction de l'angle d'ouverture pour trois profils de vanne différents.

Question 34. Indiquer quel(s) profil(s) de vanne, parmi ceux proposés dans la figure 22, permet(tent) l'ouverture totale de la vanne après rupture de l'équilibre initial. **Justifier.**

Une simulation informatique permet de résoudre l'équation différentielle pour le couple de paramètres précédent. Le résultat de cette simulation, réalisée pour une position initiale $\theta = 1^\circ$ et pour un niveau d'eau $H = H_{\max}$, est donné en figure 23.

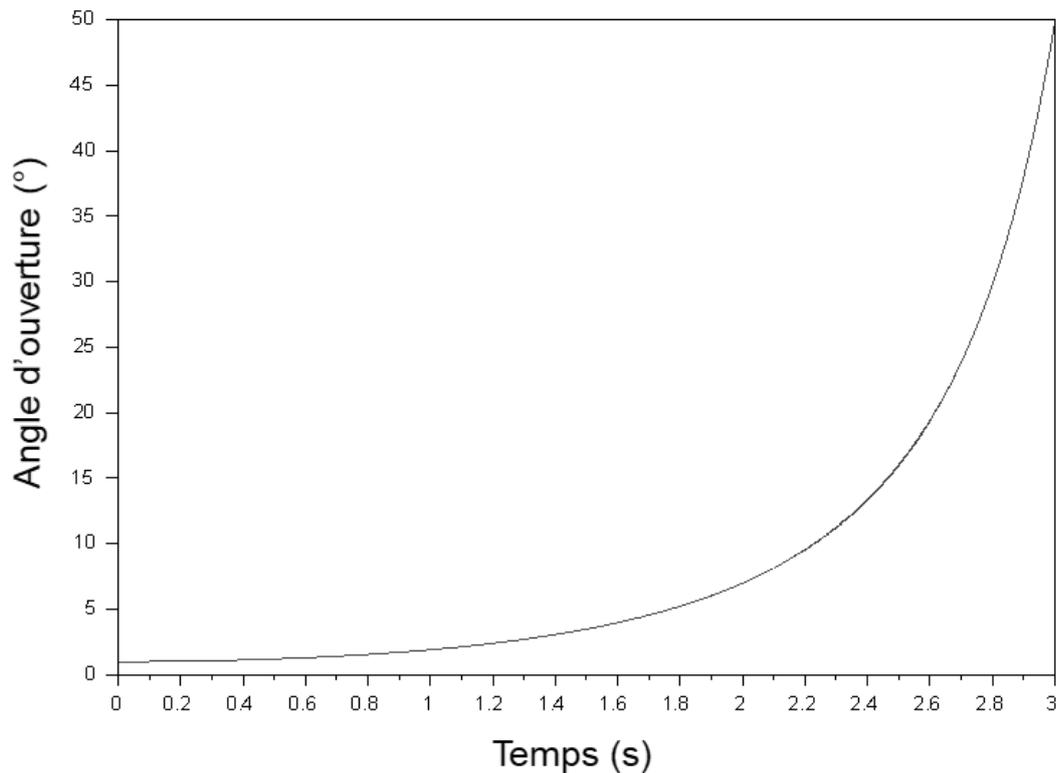


Figure 23 : résultat de la simulation, décrivant l'évolution de l'angle d'ouverture de la vanne en fonction du temps.

Question 35. Expliquer pourquoi la position initiale $\theta = 0^\circ$ n'a pas été choisie pour la simulation.

Question 36. Déterminer, à partir de la figure 23, le temps d'ouverture de la vanne.

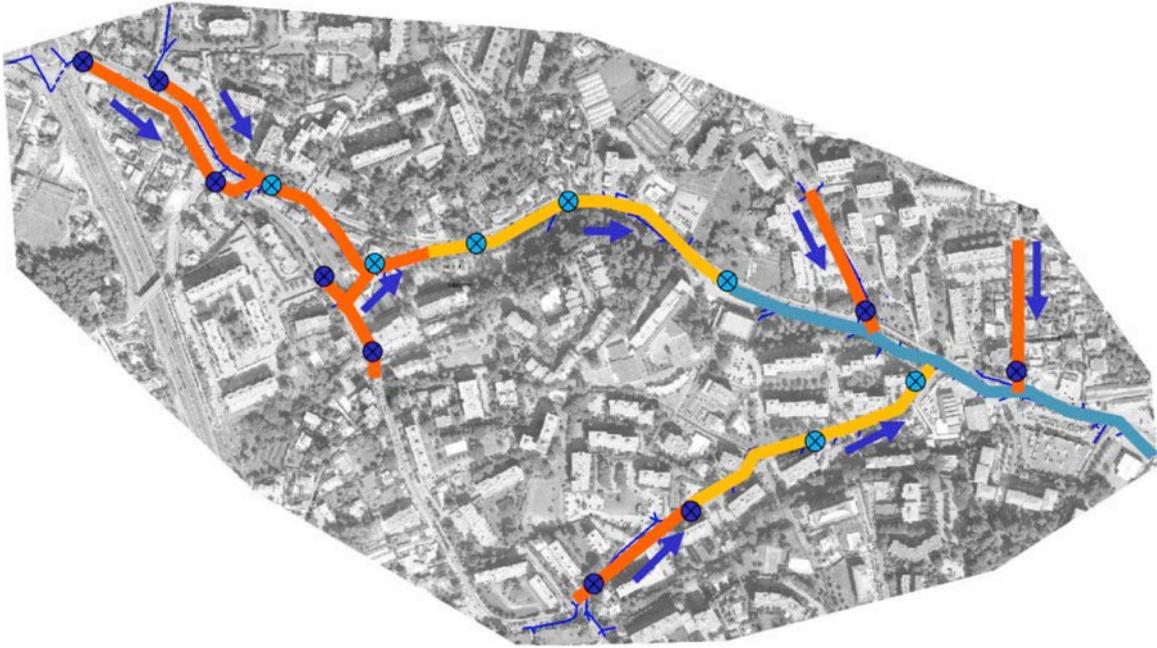
Question 37. Conclure sur cette partie quant au respect du cahier des charges de la vanne de chasse, et **proposer**, si nécessaire et au maximum en une dizaine de lignes, une modification de la vanne qui permettrait d'améliorer les performances souhaitées.

6. Synthèse

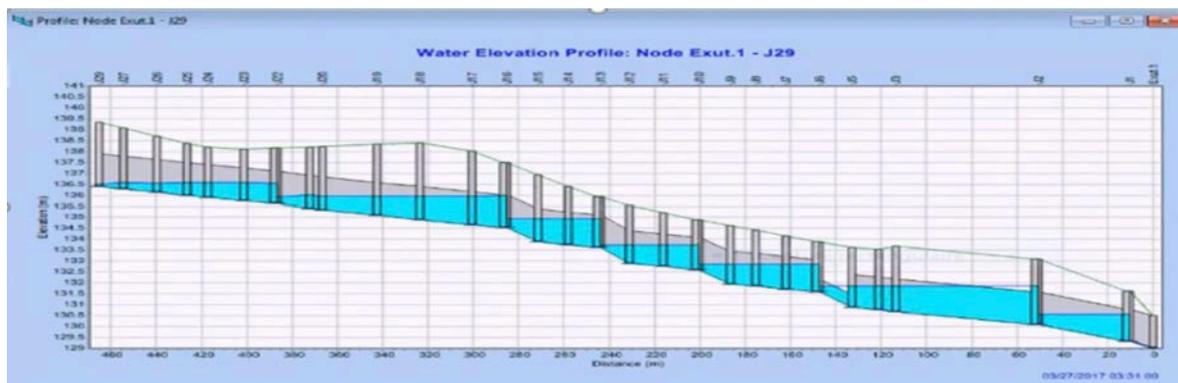
Question 38. Réaliser une synthèse sur l'intérêt de l'implantation de VHA dans la prévention des inondations et sur les étapes nécessaires au dimensionnement des vannes.

Annexe 1

Exemple d'implantation de VHA sur le réseau d'eaux pluviales de la route de Grasse à Antibes :



Résultats de simulation du dispositif F-Reg pour un orage centennial : hauteurs d'eau stockée dans les différents collecteurs :



Annexe 2

Diagramme des exigences pour l'ilôt Allar :

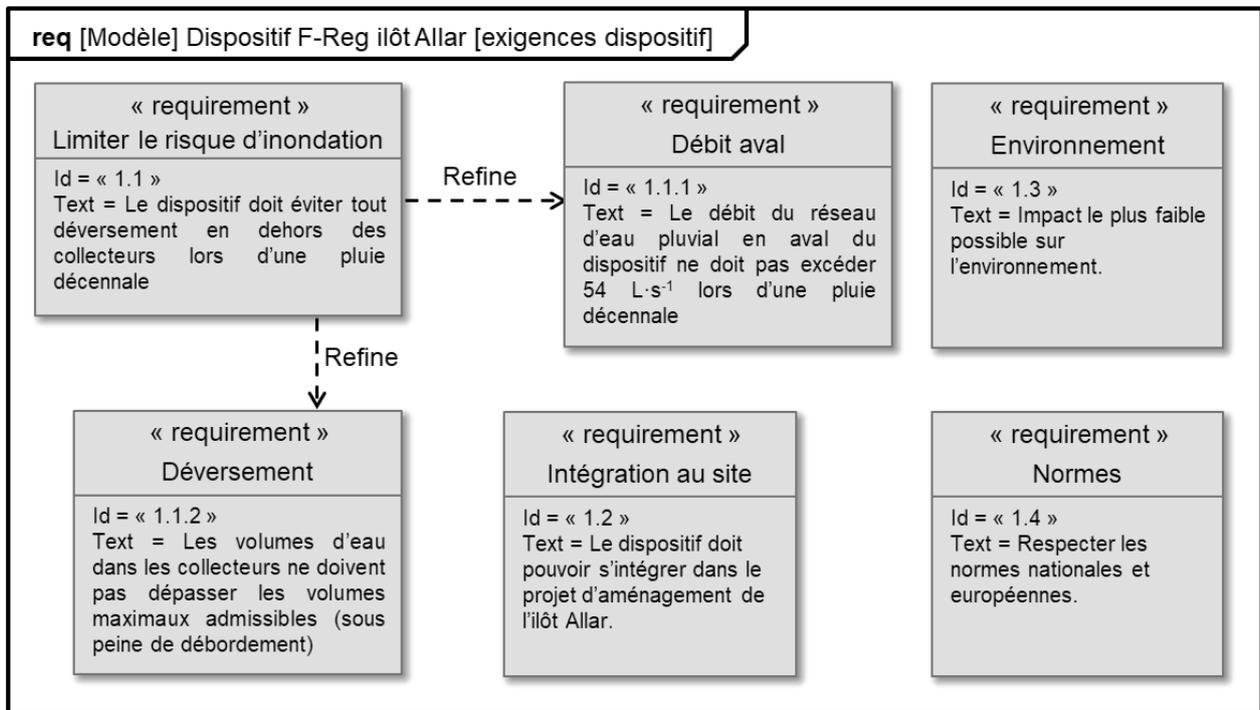
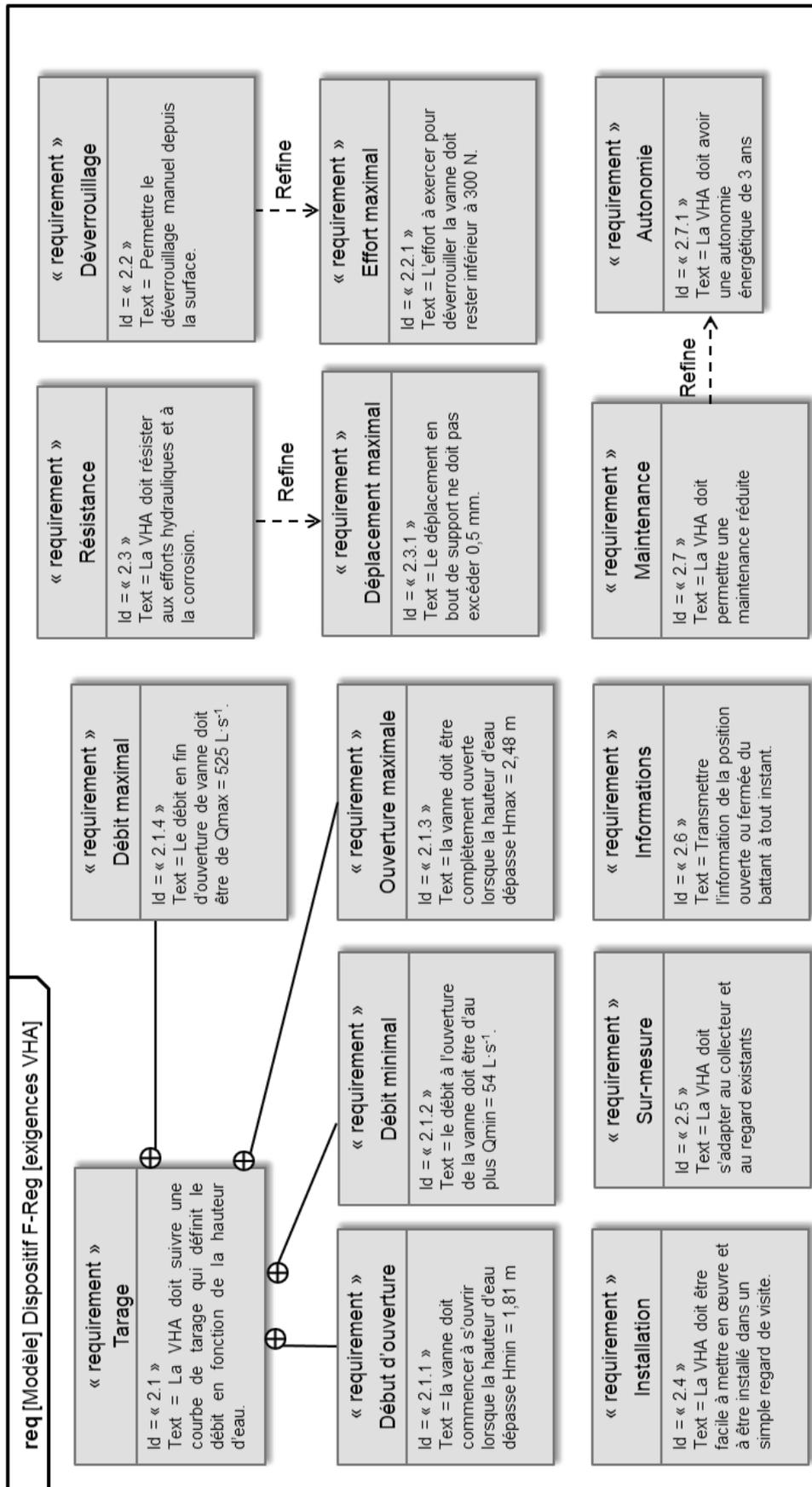


Diagramme des exigences de la vanne hydrodynamique autonome :



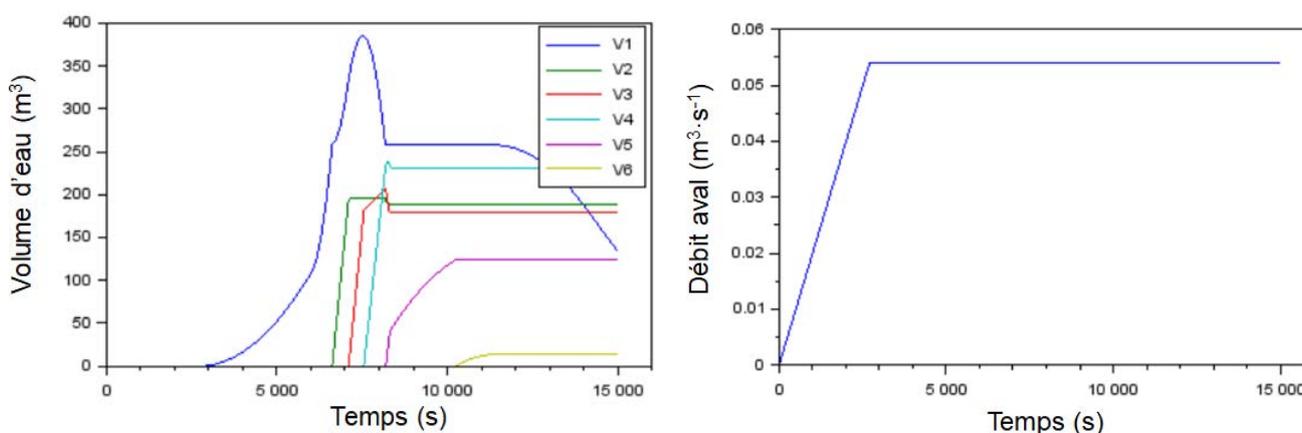
Annexe 3

Définition des scénarios :

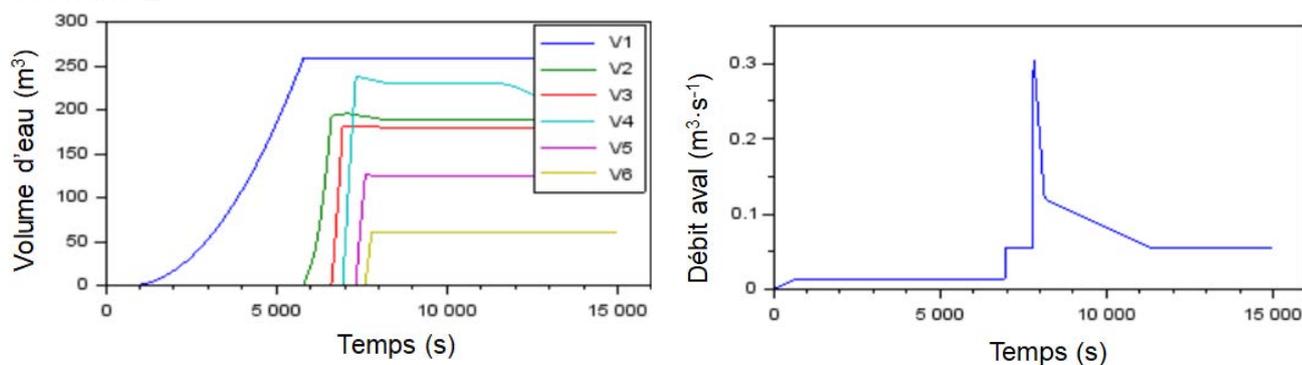
	Scénario 1		Scénario 2		Scénario 3	
Débits ($L \cdot s^{-1}$)	Qmin	Qmax	Qmin	Qmax	Qmin	Qmax
VHA n°1	54	740	54	460	14	720
VHA n°2	54	740	54	460	14	740
VHA n°3	54	660	54	460	14	760
VHA n°4	54	500	54	500	54	700
VHA n°5	54	1 190	54	600	54	1 190
VHA n°6	54	1 190	54	1 190	54	1 190

Résultats de simulation pour chaque scénario (évolution des volumes d'eau stockés en fonction du temps et débit de sortie final en fonction du temps) :

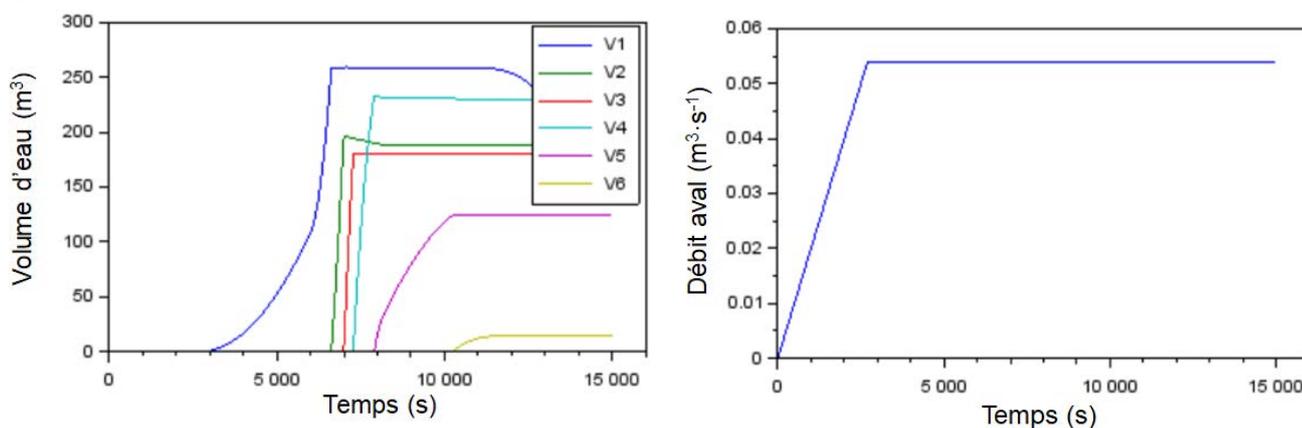
Scénario 1



Scénario 2

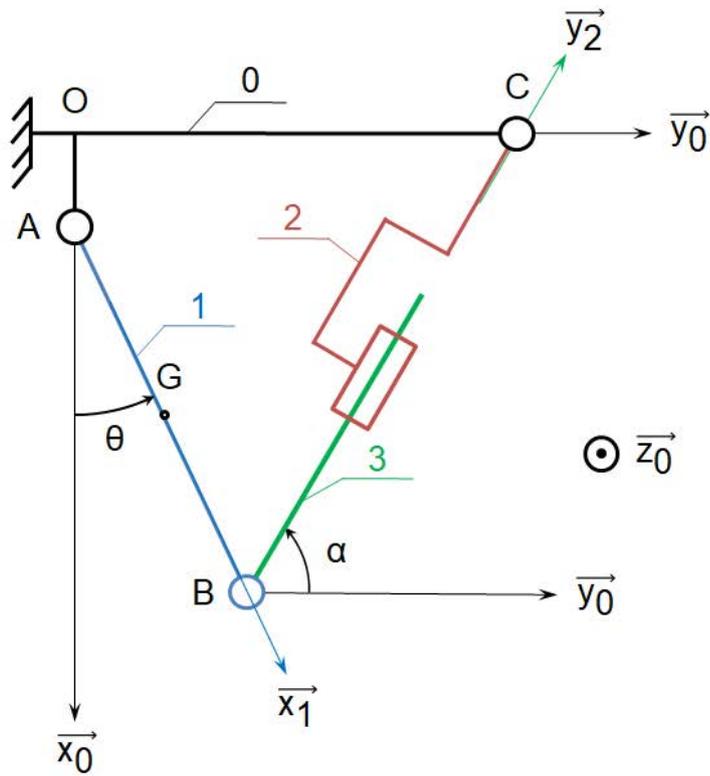


Scénario 3



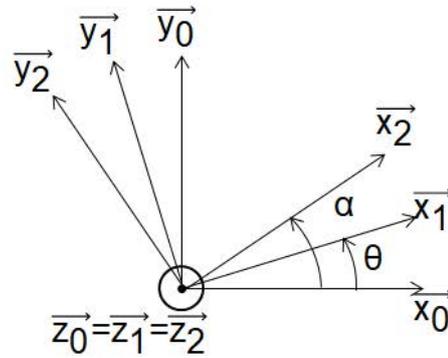
Annexe 4

Schéma cinématique et paramétrage de la vanne :



$$\begin{aligned} \overrightarrow{OC} &= b \overrightarrow{y_0} \\ \overrightarrow{OA} &= a \overrightarrow{x_0} \\ \overrightarrow{AB} &= c \overrightarrow{x_1} \\ \overrightarrow{AG} &= d \overrightarrow{x_1} \\ \overrightarrow{BC} &= \lambda \overrightarrow{y_2} \end{aligned}$$

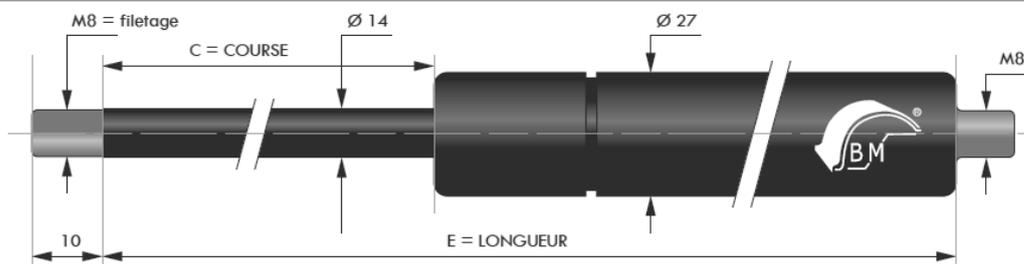
$$\begin{aligned} a &= 80 \text{ mm} \\ b &= 442 \text{ mm} \\ c &= 345 \text{ mm} \\ d &= 221 \text{ mm} \end{aligned}$$



Annexe 5

Extrait du catalogue constructeur de ressorts à gaz Berthold Marx

RESSORTS A COMPRESSION POUR CHAPES FILETÉES DIAMÈTRE 14



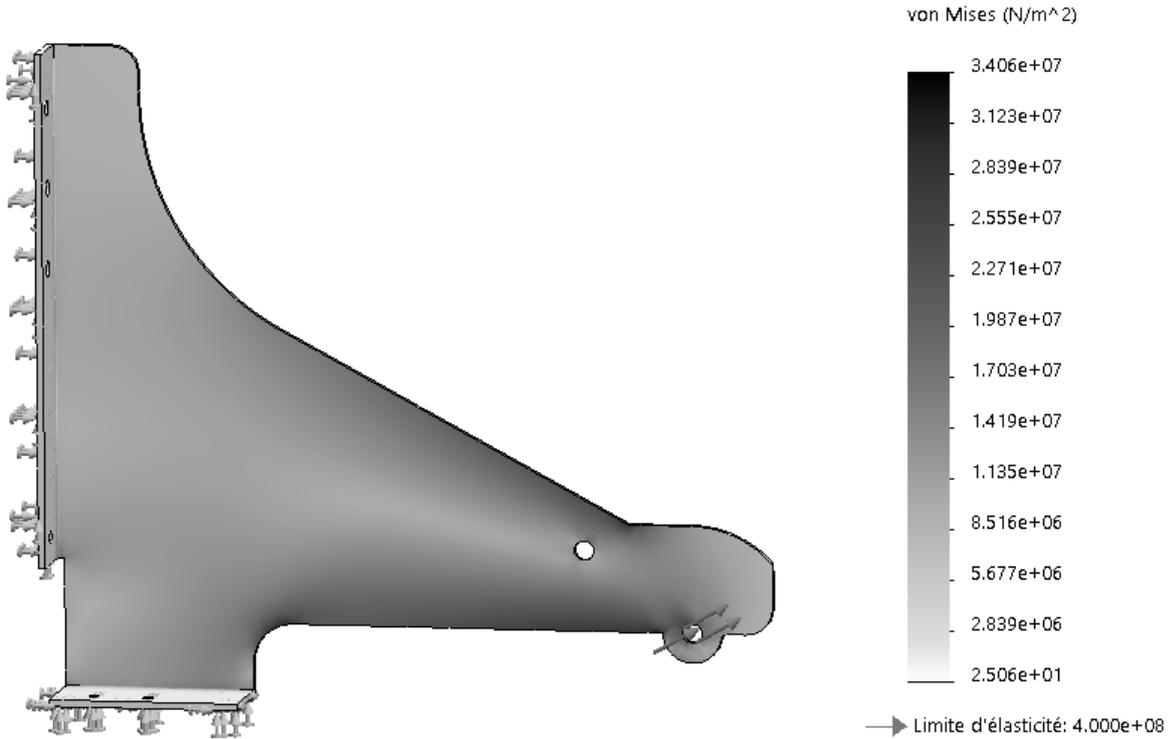
DIAMÈTRE 14 LONGUEURS ET FORCES DISPONIBLES

C - Course en mm	E - Longueur en mm	F1 - Force en Newtons	Référence
60	180	De 100 à 2100	ST 060 + F1 V + D14
100	255	De 100 à 2100	ST 100 + F1 V + D14
150	355	De 200 à 2100	ST 150 + F1 V + D14
150	368	De 200 à 2100	ST 150 + F1 V + D14 E368 M10
200	455	De 200 à 2100	ST 200 + F1 V + D14
200	455	De 200 à 2100	ST 200 + F1 V + D14 M10
250	555	De 300 à 2100	ST 250 + F1 V + D14
300	655	De 300 à 2100	ST 300 + F1 V + D14
350	755	De 300 à 2100	ST 350 + F1 V + D14
400	855	De 300 à 2100	ST 400 + F1 V + D14
400	855	De 300 à 2100	ST 400 + F1 V + D14 M10
450	955	De 300 à 2100	ST 450 + F1 V + D14
450	955	De 300 à 2100	ST 450 + F1 V + D14 M10
500	1055	De 300 à 2100	ST 500 + F1 V + D14
500	1055	De 300 à 2100	ST 500 + F1 V + D14 M10

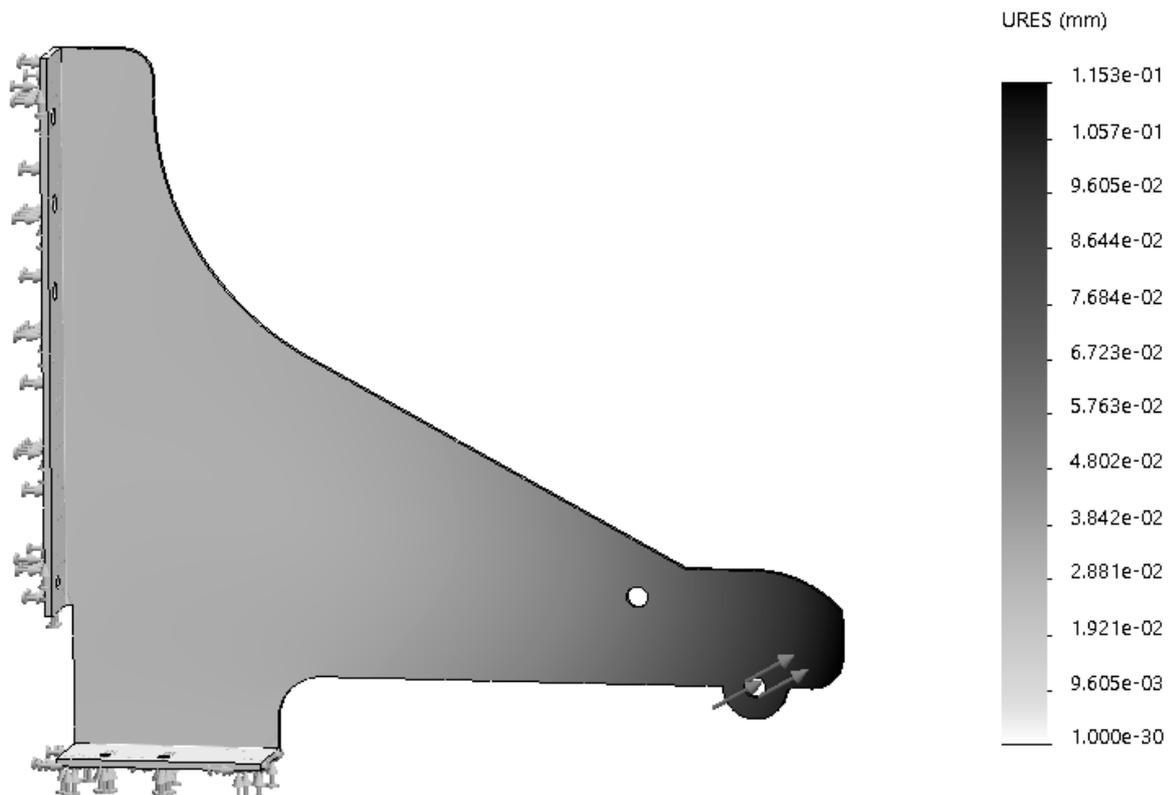
Annexe 6

Résultat de l'analyse numérique par éléments finis :

Contraintes de Von Misès

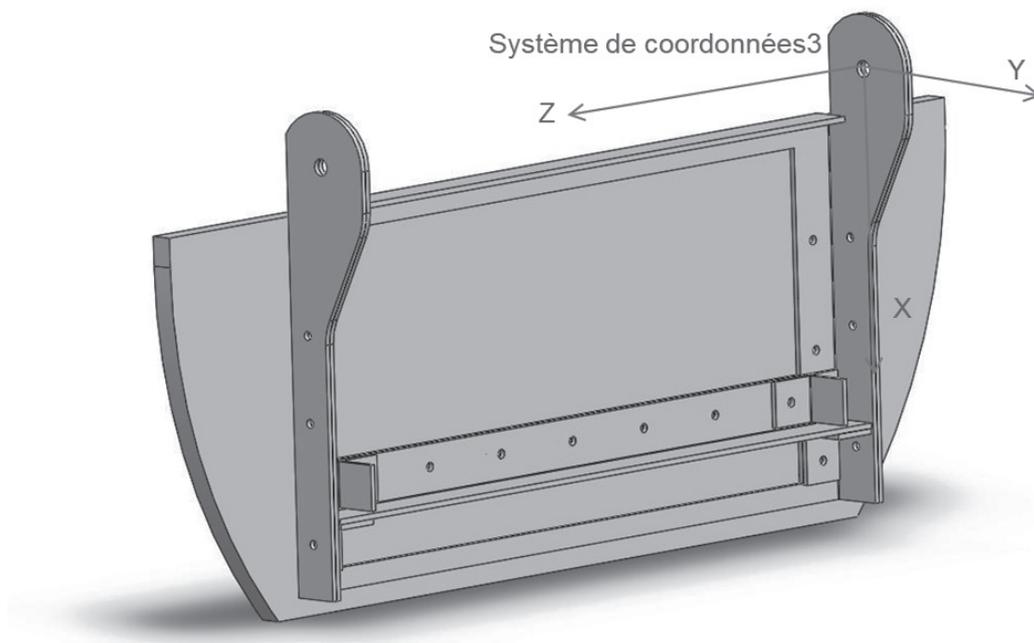
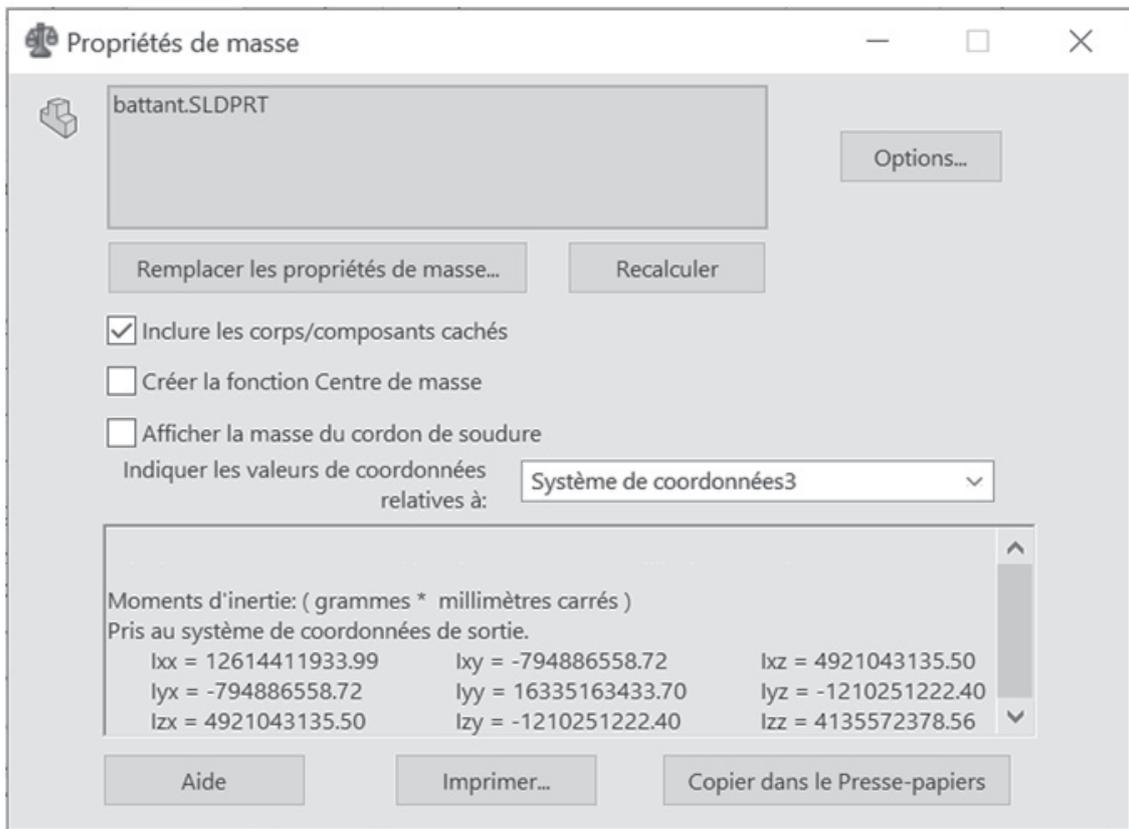


Déplacements



Annexe 7

Éléments cinétiques caractéristiques du battant



NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

DOCUMENT RÉPONSE

Profil de support de vanne

