

ASSISTANCE ÉLECTRIQUE DANS LES BATEAUX D'AVIRON DE LOISIR



Étudiants :

Maxime ARNAUDY

Quentin EDME

Romain POUSSIN

Jean-Baptiste CHANIER

Mathias LOSSOUARN

Nicolas ROLANDO

Enseignant-responsable du projet :

Didier VUILLAMY

Date de remise du rapport : **18/06/2018**

Référence du projet : **STPI/P6/2018 – #19**

Intitulé du projet : **Assistance électrique dans les bateaux d'aviron de loisir**

Type de projet : **Projet expérimental, de modélisation, de recherche**

Objectifs du projet :

L'objectif de notre projet est d'équiper électriquement un bateau d'aviron de loisir afin de faciliter l'effort du rameur, de minimiser le travail sur les bras de celui-ci sans pour autant perdre la sensation de glisse. Le but est seulement d'assister la personne qui aura encore un certain effort à fournir. La première chose à faire est donc de trouver le meilleur moyen de proposer cette assistance si possible en l'ajoutant sur un bateau déjà existant sans trop le dénaturer, puis de doser au mieux l'aide fournie pour allier sport et confort.

Mots-clefs du projet : **Assistance, Aviron, Électricité**

TABLE DES MATIÈRES

1. Introduction.....	6
2. Méthodologie / Organisation du travail.....	7
3. Présentation de l'aviron.....	8
4. Les hypothèses envisagées.....	11
4.1. Idées rejetées.....	11
4.2. Idées retenues.....	13
5. Étude du choix retenu.....	14
5.1. Choix des conditions d'étude.....	14
5.2. Conception du système.....	16
5.3. Présentation des résultats.....	17
6. Conclusions et perspectives.....	22
7. Bibliographie.....	23
8. Annexes.....	24
8.1. Présentation de la feuille de calcul.....	24
8.2. Étude de la pression à l'intérieur du vérin.....	27

REMERCIEMENTS

Nous souhaitons tout d'abord remercier notre professeur encadrant lors de ce projet, Mr VUILLAMY pour sa disponibilité, que ce soit lors des séances et même lors d'un samedi pour nous faire visiter son club d'aviron et nous partager sa passion, ses conseils, sa bonne humeur et son aide généreuse plus généralement qui nous a beaucoup aidé à avancer lors de ce projet.

Nous souhaitons aussi bien évidemment remercier le CNAR, le Club Nautique et Athlétique de Rouen de nous avoir permis de visiter ses installations, de découvrir ce sport qu'est l'aviron et même de le tester dans le tank à ramer pour nous familiariser avec les mouvements propres à l'aviron.

1. INTRODUCTION

L'objectif de ce projet était de concevoir un système d'assistance électrique pour les bateaux d'aviron de loisir. Le but de cette assistance est d'assister le rameur dans un skiff (bateau à une place). Notre enseignant Didier VUILLAMY souhaitait concevoir une assistance sur son aviron qui pourrait l'aider à atteindre la vitesse à laquelle l'aviron glisse sur l'eau avec le minimum de traînée. Le maintien de cette vitesse nécessite un effort important, mais permet de ressentir la totalité des sensations dans l'aviron.

Nous avons choisi ce projet pour plusieurs raisons, la première étant que nous avons tous un intérêt dans les sports, certains en particulier sur les sports nautiques. Une autre raison pour laquelle nous avons choisi ce sujet est qu'il permet d'effectuer à la fois un travail de recherche pour étudier les différentes solutions possibles, et également d'appliquer ces recherches et nos connaissances à un problème très concret. Cette concrétisation du problème nous a permis de travailler sur des problèmes comme le dimensionnement du système, son ergonomie et sa sûreté.

Pour imaginer le système qui conviendrait le mieux, nous avons envisagé plusieurs possibilités. L'étude de ces différentes solutions nous a amenés à appliquer des connaissances acquises pendant le cycle STPI ainsi qu'à étudier des systèmes et des technologies nouvelles. Grâce aux différentes solutions envisagées, les thèmes abordés sont très divers, comme l'étude mécanique des forces nécessaires, l'étude de fluides à l'intérieur d'un système pneumatique et d'autres encore.

Pour présenter notre travail sur le sujet, nous allons dans un premier temps pour chaque solution envisagée expliquer leurs avantages, leur efficacité et la facilité de leur réalisation. Puis, nous allons étudier en détail le système que l'on a retenu afin de l'optimiser et de choisir les différents composants nécessaires à sa réalisation.

2. MÉTHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Pour ce projet de P6, tous les membres de ce groupe ont fait le choix de travailler sur ce sujet. Chaque semaine, on se réunissait alors avec Mr VUILLAMY pour mener à bien notre projet.

Au début de ce projet, notre travail principal consistait à faire des recherches sur le thème de l'aviron. Effectivement, ce sport nous semblait assez flou au début donc nous nous sommes renseignés sur ce sport et sur l'ensemble des « bateaux » afin de voir ce qui les caractériser.

Nous nous sommes ensuite réparti le travail afin de gagner un maximum de temps et d'être les plus efficaces possible. Jean-Baptiste et Mathias se sont focalisés sur les différentes hypothèses que l'on pouvait formuler afin d'obtenir une assistance la plus efficace possible tout en étant réalisable. Nicolas, Quentin et Romain se sont occupés du choix retenu avec notamment les choix des conditions d'étude, la conception du système et la présentation des résultats. Enfin, Maxime a travaillé sur la création d'un programme afin de résoudre l'équation différentielle liée au piston. Évidemment, nous nous réunissions régulièrement afin de mettre en commun nos travaux et surtout pour que chacun apporte ses connaissances et comprenne ce que les autres faisaient. De plus, chacun ne restait pas focalisé seulement sur sa partie, mais apportait son aide aux autres si cela était nécessaire. Une fois que l'ensemble des travaux était fini, nous avons tout mis en commun afin de finir la rédaction de ce rapport.

Cette organisation et cette répartition des tâches nous ont permis d'avancer rapidement, de nous voir régulièrement (notamment tous les jeudis après-midi et souvent le week-end) et de nous envoyer nos parties par le biais de Sogo. Cette avancée très prompte aura même permis à Nicolas de réaliser une modélisation du bateau d'aviron sous SolidWorks.

3. PRÉSENTATION DE L'AVIRON

L'aviron est une activité physique qui consiste à se déplacer à la surface de l'eau sur un bateau à l'aide de rames. C'est donc un mode de propulsion nautique qui vise à transmettre la puissance physique humaine par l'intermédiaire de rames, appelées avirons qui, par extension, donne son nom au sport lui-même.



Illustration 1: Vue en coupe d'un aviron endommagé montrant la structure composite

Il ne faut pas confondre l'aviron avec d'autres sports nautiques qui mettent en jeu la propulsion par l'intermédiaire de rames comme le kayak par exemple. Lorsqu'en kayak, l'engin moteur est la pagaie, qui est maniée par le sportif qui exerce la poussée dans l'eau de manière directe, en aviron c'est différent. En effet, en aviron les rames doivent être utilisées comme des leviers et transmettre à l'aide d'un point fixe intégré au bateau explicité plus tard, la force appliquée par le rameur, qui se retrouve démultipliée. Une autre différence réside dans le fait qu'en aviron l'athlète est assis dos au sens de l'avancement du bateau, sur un siège roulant appelé « coulisse », ce qui n'est pas le cas en kayak.

Les embarcations sont de plusieurs types. Les bateaux de loisir sont généralement assez larges et lourds, ce qui permet de procurer une bonne stabilité de l'embarcation. Idem pour les bateaux d'aviron de mer pour lesquels les conditions de navigation nécessitent des embarcations stables. Ces bateaux peuvent être en bois, en fibre de verre ou en plastique rotomoulé ce qui en fait des bateaux bons marché et relativement solides. Les bateaux d'aviron destinés à la compétition sont eux à la recherche de la meilleure performance, de vitesse. Ces embarcations sont donc à contrario longues, étroites et plus légères pour réduire la résistance à l'eau. On a recours aux matériaux composites pour construire ce genre bateau. Les coques les plus performantes sont construites en composite carbone/kevlar en « nid d'abeille ».

Selon ces différents types d'embarcations, le rameur utilise pour propulser son bateau un des deux armements possibles en aviron :

- Un aviron unique dit alors de pointe (longueur totale de 3,5 à 4m.)
- Deux avirons dits dans ce cas de couple (environ 3m de long chacun)

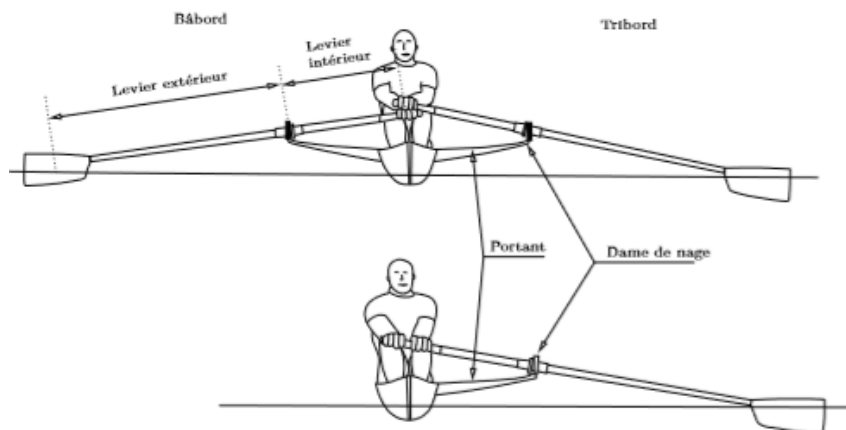


Illustration 2: Vue de face d'un aviron de couple (en haut) et d'un aviron de pointe (en bas)

Voici un récapitulatif de différents types d'embarcations utilisées dans le tableau suivant. On y retrouve la longueur, le poids et l'armement du bateau entre autres.

Nom	Nombre d'athlètes	Armement	Barreur	Longueur	Poids
Skiff	1	Couple	Non	8m	14kg
Double	2	Couple	Non	10,4m	27kg
Deux sans barreur	2	Pointe	Non	10,4m	27kg
Quatre sans barreur	4	Pointe	Non	13,4m	50kg
Quatre barré	4+1	Pointe	Oui	13,4m	51kg
Quatre de couple	4	Couple	Non	13,4m	52kg
Huit	8+1	Pointe	Oui	20m	96kg

De manière générale, l'embarcation est dotée d'un ou deux **portants** par rameur (en fonction de s'il s'agit d'un aviron de pointe ou de couple), d'une **dame de nage** au bout de chaque portant qui permet le maintien des avirons sur le bateau au niveau de la **bague** ou le **collier** de ceux-ci. C'est le point fixe auquel je faisais référence ci-dessus. Les dames de nage possèdent un degré de liberté en rotation. L'axe de rotation est solidaire des portants. À l'intérieur du bateau, on retrouve la **planche à pied**, interface fixe entre les pieds du rameur et le bateau. Elle est composée d'une partie fixée au bateau (la planche) et de chaussures dont la pointe est fixée à la planche. Enfin, la **coulisse**, siège où est assis le rameur, est mobile par rapport au bateau, son guidage étant assuré par deux rails fixés à l'embarcation.



Illustration 3: Nomenclature du bateau

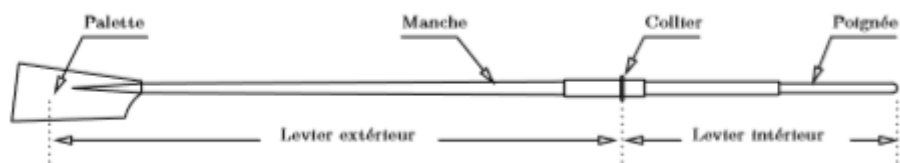


Illustration 4: Nomenclature d'un aviron

Le geste de l'aviron est cyclique et répétitif. La technique nécessite beaucoup d'entraînement. Il ne suffit pas d'avoir un geste efficace, mais il faut pouvoir le conserver sur chaque coup d'aviron pendant toute une session. Le geste d'aviron comporte deux phases : la phase de propulsion aussi appelée temps moteur et la phase de retour ou temps de glisse.

- La propulsion est la période pendant laquelle la palette de l'aviron est dans l'eau. On est alors initialement en position dite d'attaque et le rameur va produire son effort d'où le terme de temps moteur.
- À la fin de la phase de propulsion, le rameur est en position dite de dégagé et retire ses avirons de l'eau. Commence alors la phase de retour, période pendant laquelle la palette est hors de l'eau. Le bateau continue de glisser sur l'eau fort de la propulsion donnée par le rameur, d'où le nom de temps de glisse. Le rameur ramène ses jambes pour se remettre en position d'attaque et recommencer le mouvement. Voici une figure résumant le mouvement du coup d'aviron.

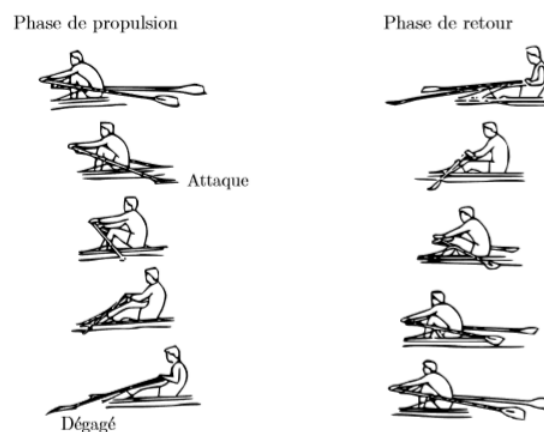


Illustration 5: Les phases du coup d'aviron

Notre aviron d'étude pour ce projet est un skiff monoplace de double.

4. LES HYPOTHÈSES ENVISAGÉES

4.1. Idées rejetées

Cette partie a pour but de présenter quelques idées qui nous ont conduits à l'élaboration du système final. La liste n'est pas exhaustive, il ne s'agit que de quelques exemples intéressants.

4.1.1. **Bague sur la rame**

Toute la finalité du projet s'articule autour de ce problème : Comment transmettre l'énergie provenant du moteur à la rame ?

Nous avons alors envisagé plusieurs solutions, parmi celles-ci nous avons pensé à installer une bague sur la rame. Celle-ci recevrait une pression mécanique imposée par un vérin électrique fixé sur la coque du bateau. Cette méthode permettrait bien d'imposer une force rotative à la rame, mais elle n'est pas applicable : des calculs mathématiques ont prouvés que, quel que soit le point de fixation du vérin sur la coque, la direction et le sens de la force appliquée sur la bague ne permettent pas d'avoir une assistance sur l'ensemble du mouvement.

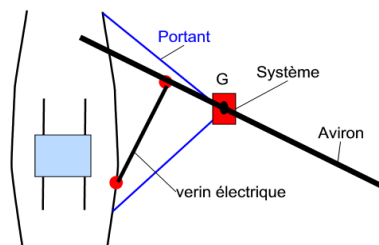


Illustration 6: Système bague/vérin

En effet, irrémédiablement au cours de l'effort, le vérin électrique et l'aviron se seraient retrouvés parallèles, ce qui correspond à une impossibilité d'envoyer de l'énergie à partir de ce moment là. Pour y remédier, il aurait fallu que le point de fixation du vérin sur la coque puisse se déplacer au cours du mouvement. Cela aurait pu être mis en place avec un système de rail sur le côté du bateau, mais cela reste très complexe à concevoir et appliquer en réalité. L'assistance électrique avec ce système aurait donc été au mieux partielle et très inconfortable pour le rameur. Le système que nous avons sélectionné sera explicité dans une autre partie du rapport.

4.1.2. **Compresseur à eau**

Pour alimenter les vérins qui sont à la base de notre système d'assistance, nous avons besoin d'un système fermé de fluide sous pression. Celui-ci étant plus efficace en utilisant une capacité, il nous fallait un compresseur. Au départ, nous avons pensé utiliser un compresseur à eau (utilisé notamment dans les voitures), mais celui-ci étant massif, nous avons considéré que cela ne conviendrait pas sur un bateau léger et taillé pour la vitesse. En effet, l'excédent de poids du compresseur à eau aurait dû être compensé par une assistance plus puissante. Le système retenu est donc un compresseur à air, plus léger.

4.1.3. **Pédale**

L'aviron étant une activité faisant appel à la force physique et à un matériel imposant, le risque d'accident est toujours présent. Ainsi, le fait de rajouter une assistance électrique sans y apposer de système d'arrêt d'urgence aurait été inconscient. Nous avons d'abord pensé à installer un bouton sur une rame qui aurait été accessible par le pouce de l'utilisateur, mais ce système ne semble pas viable : en effet, des problèmes de câblage entrent en jeu, car raccorder un système électrique entre

le haut d'une rame (position du bouton) et l'autre rame semble irréalisable, de plus nous ne savions pas comment faire pour que les câbles ne se bloquent pas dans le tolet. L'idée que nous avons trouvée la plus susceptible d'être applicable sur un bateau est l'installation d'une pédale électrique. Celle-ci serait accessible d'un simple mouvement de pied vers le côté et, une fois enclenchée, permettrait de stopper immédiatement toute assistance. Néanmoins, celle-ci ne doit pas être choisie au hasard : en effet, si l'on prend une pédale qui ne nécessiterait pas de pression du pied de l'utilisateur (image de droite, il suffit de poser le pied pour que le système s'enclenche), celle-ci pourrait être activée par inadvertance et ainsi bloquerait le système sans que l'utilisateur le veuille. Il faut donc que le rameur ait un mouvement de pression à fournir. En résumé, il faut choisir une pédale et non pas un capteur de pression.



Illustration 8: Pédale électrique



Illustration 9: Capteur de pression

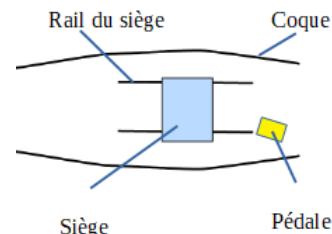


Illustration 7: Position du système d'arrêt d'urgence

4.1.4. Parallèle avec le vélo

Notre professeur encadrant nous a suggéré de nous inspirer de l'assistance électrique sur certains vélos pour concevoir notre propre système. Voici quelques systèmes que nous avons étudiés succinctement :

- Tension de la chaîne

La transmission d'énergie mécanique dans un vélo se fait à l'aide de chaînes, mais cela est inutilisable sur un skiff : cela fonctionne pour un vélo, car le mouvement (rotation de la pédale) est effectué sur un seul plan vertical, mais pour un skiff, le mouvement vis-à-vis de la rame se fait sur deux plans (gauche / droite et vertical / horizontal), donc des chaînes ne pourraient pas permettre de retranscrire la complexité du mouvement du sportif.

De plus, le fait que la zone du skiff où les chaînes auraient été positionnées puisse être immergée régulièrement aurait créé des gros problèmes d'entretien (rouille, ...) .

- Moteur électrique de vélo

Lorsque nous avons cherché quel genre de moteur pouvait être à la fois assez petit, et de puissance suffisante, nous avons rapidement pensé au moteur de vélo électrique. En effet, il peut développer une puissance suffisante tout en étant relativement léger, car il a été étudié pour cela. Mais nous avons vite abandonné l'idée, car nous n'avons pas trouvé de moyen efficace et sûr de rendre le moteur étanche, ou même de distribuer efficacement l'énergie mécanique qu'il peut développer.

En raison de ces défauts inhérents à ce moteur, nous n'avons pas pu l'utiliser pour notre skiff.

4.1.5. Deux moteurs

Parmi toutes les idées que nous avons envisagées pour apporter la force nécessaire à l'assistance mécanique, nous avons pensé à utiliser deux moteurs. En effet , en plaçant deux moteurs, cela permettait d'alléger le poids total de l'installation. Mais au final, cette méthode aurait présenté plus d'inconvénients que d'avantages. , le fait de mettre deux moteurs plus petits au lieu d'un seul apporte des contraintes qui sont difficilement gérables et qui n'existent pas si l'on utilise un seul moteur. Tout d'abord, il faudrait réussir à obtenir deux moteurs avec un poids tout à fait identique, et également réussir à les placer dans l'embarcation de sorte que le skiff ne soit pas déséquilibré. De plus, si l'on utilise deux moteurs, il faut penser que ceux-ci peuvent se déphaser. Cela entraînerait un déséquilibre de l'aide apporté au rameur et ne ferait au final que le gêner.

C'est pour toutes ces raisons que nous avons décidé de ne pas utiliser deux petits moteurs, car cela était trop contraignant et difficilement réalisable.

4.1.6. Capteur magnétique

Parmi les solutions envisagées pour savoir quand déclencher l'assistance au rameur, nous avons pensé à utiliser un petit capteur magnétique. Celui-ci est capable de détecter certaines positions précises de la rame et grâce à cela, nous aurions pu réaliser un système qui aurait été capable de déclencher et d'arrêter l'assistance au bon moment. Mais nous n'avons pas choisi cette solution au final pour plusieurs raisons. Tout d'abord, les seuls capteurs de ce genre que nous aurions pu nous procurer sont ceux qui se trouvent sur les vélos électriques, et ils ne sont donc pas du tout adaptés pour se positionner sur le tolet ou ailleurs. De plus, il aurait nécessité un montage électrique. Quoique petit, ce montage n'aurait certainement pas été fiable et durable sur un skiff, qui est en contact permanent avec l'eau.

Nous avons donc décidé de trouver une autre solution, celle-ci n'étant pas appropriée.

4.1.7. Moteur à hélice sous le bateau

Toujours en cherchant un moteur efficace, nous avons trouvé un moteur déjà existant (à hélice) qui pouvait se fixer sous la coque d'une planche ou d'un petit bateau pour propulser celui-ci. Nous n'avons néanmoins pas continué dans cette voie, car cela aurait nécessité des modifications trop importantes de la coque et du skiff en général, ce qui allait à l'encontre de ce qui nous était demandé. De plus, cela aurait probablement engendré des problèmes pour entreposer les skiffs.

4.1.8. Moteur profilé sous la coque

Dans nos idées pour savoir où mettre le moteur, afin de déranger le moins possible le rameur nous avons envisagé de coller celui sous le bateau. Cela avait plusieurs avantages en plus de l'espace gagné à l'intérieur de l'embarcation. En effet, grâce à cela, il était possible de mettre un moteur conséquent, sans pour autant trop alourdir le bateau, puisque le moteur était déjà immergé. De plus, en utilisant une sorte de « boîte » profilée et fixée sous la coque, il serait possible de se servir de moteurs sans contrainte d'étanchéité. De plus, à l'aide d'une forme hydrodynamique adaptée, on pourrait même aider le rameur, en s'arrangeant pour que cette boîte soit en forme d'aileron.

Mais malgré tous ces avantages potentiels, nous avons rejeté cette idée, car elle nous demanderait de faire des modifications trop importantes sur le skiff, ce qui serait contraire à ce qui nous est demandé.

4.2. Idées retenues

4.2.1. Système moteur retenu, le compresseur

Au final, nous avons retenu un système qui se constitue d'un unique compresseur situé dans l'embarcation, relié à deux capacités d'air sous pression, elles-mêmes reliées à deux vérins qui transmettent l'énergie mécanique sur les tolets qui sont mis en rotation. Ceci a l'avantage que la force exercée sur les tolets soit la même des deux côtés, car on utilise un unique « moteur » qu'est le compresseur. Les capacités d'air permettent de mieux contrôler l'énergie mécanique développée par le compresseur, en effet, les capacités d'air permettent d'ajuster le débit d'air arrivant dans les vérins. De plus, le vérin est le moyen le plus efficace et pratique de distribuer cette énergie sur le tolet tout en ne craignant pas l'eau.

5. ÉTUDE DU CHOIX RETENU

5.1. Choix des conditions d'étude

Après avoir choisi le projet le plus réalisable, il est nécessaire de fixer notre cahier des charges. On souhaite une assistance de 20 % de l'effort normal du rameur. Nous devons dès lors calculer bon nombre de paramètres pour mener à bien notre étude.

5.1.1. Calcul des forces

On considère que le rameur développe une force de poussée $F_0 = 60\text{ N}$ pour faire avancer l'aviron. Cette force est répartie de manière équitable sur les deux avirons. On a donc une force $F_1 = 30\text{ N}$ sur chaque aviron.

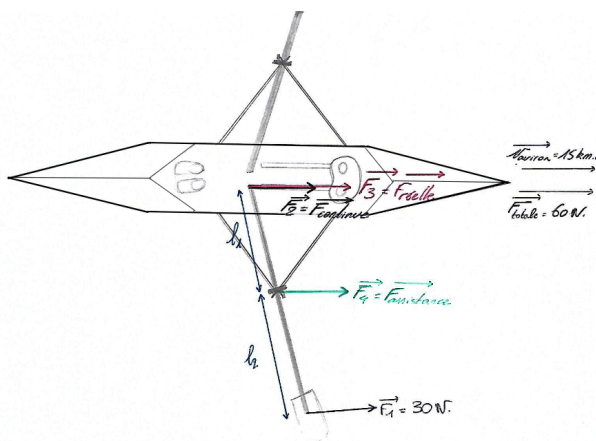


Illustration 10: Schéma des forces appliquées sur l'aviron

On doit maintenant déterminer la force \vec{F}_2 , la force produite par le rameur au bout de l'aviron. On considère dans un premier temps que l'effort est continu. Avec la géométrie du problème, on a : $F_1 \times l_2 = F_2 \times l_1$ avec $l_1 = 0,87\text{ m}$ et $l_2 = 1,55\text{ m}$. On en déduit F_2 ;

$$F_1 \times l_2 = F_2 \times l_1 \Leftrightarrow F_2 = F_1 \times \frac{l_2}{l_1} \Leftrightarrow F_2 = 30 \times \frac{1,55}{0,87} = 53\text{ N}$$

On a ici déterminé F_2 dans le cas où l'effort est continu. Or, ce n'est pas le cas dans la réalité, dans la réalité, le rameur fonctionne par cycle de 3 secondes. Il effectue le temps moteur pendant 1 seconde et le temps de glisse pendant 2 secondes comme le montre la figure suivante :

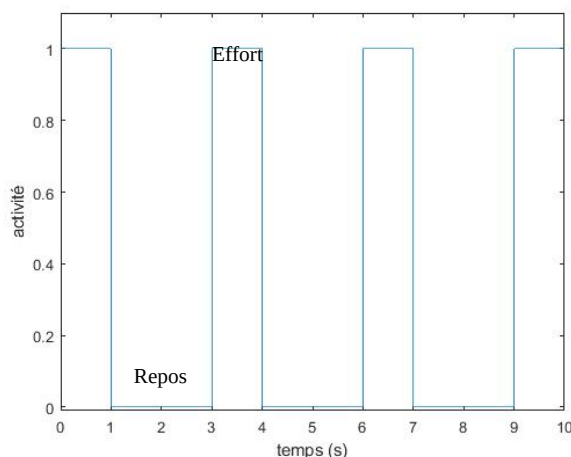


Illustration 11: Figure représentant l'effort en fonction du temps

On va donc chercher à déterminer \vec{F}_3 , la force réellement produite par le rameur au bout de l'aviron, sur le manche. On va utiliser l'impulsion mécanique pour cela. La figure ci-dessous montre bien que l'impulsion mécanique se conserve. On a l'impulsion \vec{I} telle que
$$\vec{I} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}(t) dt$$

Cela se traduit par :
$$I = F_3 \times t(\text{effort}(s)) = F_2 \times t(\text{cycle}(s)) \Leftrightarrow F_3 = F_2 \times 3 = 53 \times 3 = 159 \text{ N}$$

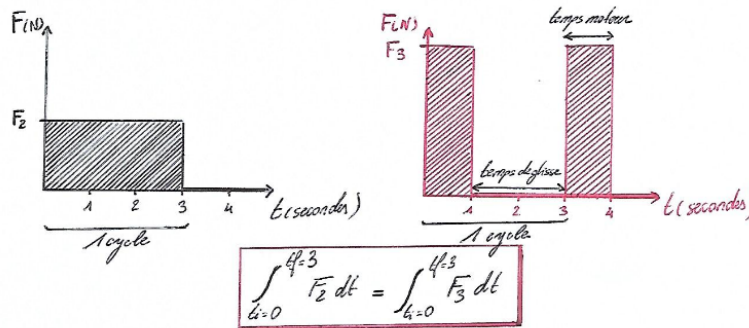


Illustration 12: L'impulsion mécanique se conserve

On doit donc fournir une assistance F_4 de 20 % de la force réelle \vec{F}_3 effectuée par le rameur, c'est-à-dire :
$$\vec{F}_4 = 0,20 \times \vec{F}_3 \Leftrightarrow F_4 = 0,20 \times 159 = 31,8 \text{ N} \approx 3 \text{ kgf}$$

5.1.2. Calcul du couple

Pour satisfaire cette condition \vec{F}_4 plus que nécessaire pour résoudre notre problème initial, il faut que notre pièce ajoutée sur le système soit animée d'un couple \vec{C}_p . On a la formule du couple
$$\vec{C}_p = \vec{F} \times r$$
 avec r le rayon et \vec{F} la force tangentielle.

Dans notre cas, cette pièce étant ajoutée directement sur la dame de nage, on a $r = l_1$. Il nous faudra donc un couple tel que :
$$C_p = F_4 \times l_1 = 31,8 \times 0,87 = 27,7 \text{ Nm} \approx 30 \text{ Nm}$$

5.1.3. Fixation des angles d'attaques et de dégagé

Pour nos calculs, on fixera $\theta_{\text{attaque}} = 45^\circ$ et $\theta_{\text{dégagé}} = 45 + 90 = 135^\circ$. En effet, on considère qu'au cours d'un cycle, l'aviron effectue une rotation d'angle 90° , soit $\frac{\pi}{2}$ radians.

5.1.4. Calcul du travail

Pour vérifier plus tard que nos calculs d'élongation du vérin et de la force développée par le vérin sont valides, nous devons avoir préalablement calculé le travail.

On peut calculer le travail par la formule suivante :
$$W = \int_{\theta_{\text{attaque}}}^{\theta_{\text{dégagé}}} C_p \times d\theta$$
 On trouve alors notre valeur du travail
$$W = C_p \times (\theta_{\text{dégagé}} - \theta_{\text{attaque}}) = 27,7 \times \frac{\pi}{2} = 43,5 \text{ J} \approx 45 \text{ J}$$

On pourra plus tard valider nos calculs avec la formule suivante du travail :

$$W = \int_{\text{élongation à } t=0}^{\text{élongation finale}} \vec{F} \times dl \text{ avec } dl \text{ l'élongation du vérin.}$$

5.1.5. Dimensionnement du vérin

Pour nos calculs, nous nous devons finalement de dimensionner notre vérin. Comme explicité ci-dessus nous souhaitons avoir un couple d'environ 30Nm. Le jeu consiste à influencer sur les paramètres de pression et de diamètre du vérin pour imposer une force qui va animer notre pièce ajoutée du couple souhaité. La formule liant ces paramètres est la suivante :

$$F_{\text{verin}} = P \times \frac{\pi \times D^2}{4}$$

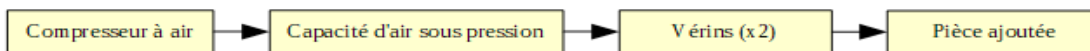
avec P la pression et D le diamètre du vérin. On fixera ces paramètres à

$P=2,5 \text{ bar}$ et $D=4\text{cm}$, paramètres obtenus par tâtonnement dans le classeur libre office où nous avons effectués nos calculs.

5.2. Conception du système

Après avoir choisi nos conditions d'étude pour solutionner notre problème, nous devons concevoir de la manière la plus optimale possible le système, c'est-à-dire de la manière la plus simple, la plus arrangeante, celle qui dénaturera le moins l'aviron initial dans le but de pouvoir à terme installer notre système. Mais nous devons faire le moins de compromis possible quant à l'assistance fournie de 20 %, notre problème de base, et nos calculs doivent être rigoureux pour avoir exactement la même assistance fournie des deux côtés du bateau, symétrique. Cette symétrie qui a été à prendre en compte au moment de choisir une solution parmi nos différentes idées (se conférer à la partie des hypothèses envisagées).

Après concertation donc, il a été décidé donc de concevoir le système suivant :



L'idée du système est d'alimenter un compresseur à air par une batterie lithium-ion classique (de 200g, ce qui suffit amplement pour notre usage). Le compresseur à air apporte alors de l'air dans une capacité d'air sous pression jusqu'à une certaine pression d'alimentation définie P_{ai} . Quand la pression atteinte devient supérieure à P_{ai} et que le rameur est prêt à tirer les avirons, une électrovanne se déclenche et l'air s'échappe par une tuyauterie vers les deux vérins positionnés sur les côtés de l'aviron et animent enfin la pièce ajoutée montée sur chacune des dames de nage d'un couple bien défini précédemment de 30Nm en fin de mouvement de la part du rameur. Pour un fonctionnement optimal, il faut que les vérins soient alimentés par une pression constante. Il faut donc placer un petit réservoir entre la pompe et les vérins pour agir comme un volume tampon. Une fois que le rameur a fini son mouvement, l'air contenu dans les vérins s'échappe et le rameur peut alors revenir en position d'attaque. Le processus peut alors recommencer. Notre étude s'est alors essentiellement concentrée sur la création véritablement d'une pièce ajoutée peu complexe et simple d'ajout ainsi que le calcul optimal de la position du vérin.

5.2.1. Création de la pièce

Pour la conception de cette pièce, il nous était évident qu'il fallait chercher simple. On a alors eu l'idée de créer une pièce simple circulaire qui serait actionnée en rotation sur le tolet et entraînerait avec elle la dame de nage pour finalement faciliter la rotation de l'aviron glissé dans la bague. Cette pièce serait dotée d'une extrusion circulaire surmontée d'une boule (au point P, cf. schéma ci-dessous) à une distance raisonnablement faible de l'axe de la pièce pour permettre la fixation du vérin en ce point. On arrive alors à cette pièce :

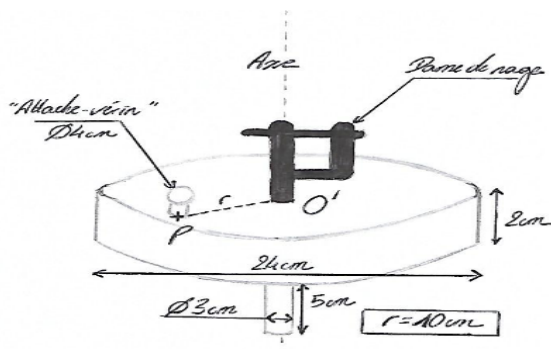


Illustration 14: Schéma coté de la pièce

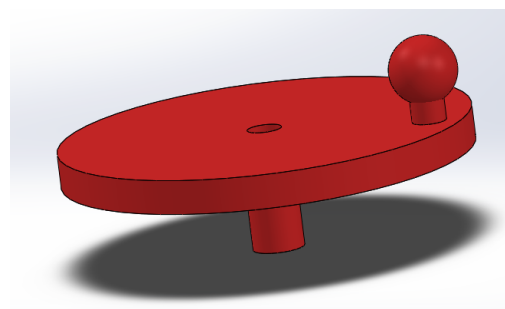


Illustration 13: Rendu SolidWorks de la pièce

5.2.2. Géométrie du problème, fixation du vérin

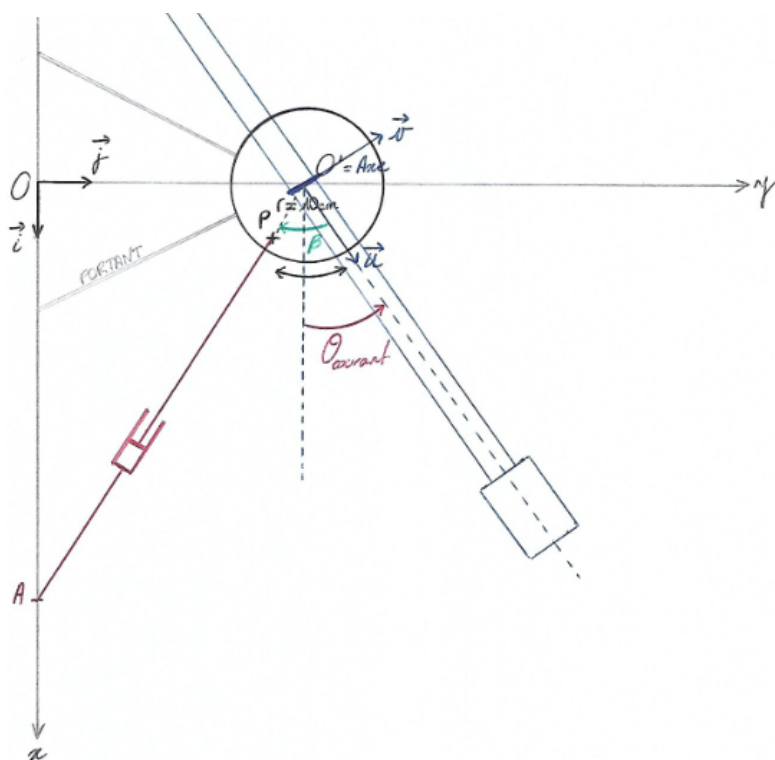


Illustration 15: Schéma géométrique du problème

L'autre chantier de ce projet a été de choisir de manière optimale la position du vérin pour animer la pièce d'un couple de 30Nm en fin de mouvement (on a admis que le mouvement est achevé dès lors que la dame de nage a effectué une rotation de 90 degrés). Pour ce faire, à l'aide d'une feuille de calcul sous libre office, (développé en annexe) nous avons fait varier des paramètres, la position du point A et du point P représentés sur le schéma ainsi que la pression de l'air dans le vérin et le diamètre de celui-ci. On a ensuite tracé des graphiques, qui nous ont déterminé la position du point P au cours du mouvement ainsi que l'évolution du couple en fonction de l'angle $\theta_{courant}$. Par tâtonnement, on en a déduit un cas favorable, duquel on en a déduit l'élongation maximale du vérin au cours du mouvement. On a également poussés notre étude en déduisant les effets des variations des paramètres position de A et P.

5.3. Présentation des résultats

5.3.1. Points essentiels

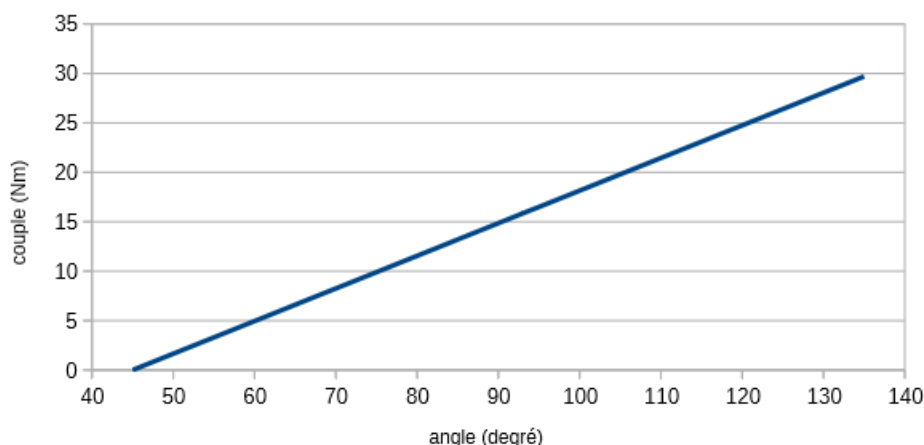
Nous avons entré dans un tableur présent en annexe les différents paramètres relatifs à notre projet. Les variables correspondent à celles sur le schéma. Ainsi, nous avons entré les coordonnées x et y de la rame aux points A et P qui correspond à l'attaque, l'angle θ à l'attaque, l'angle β , la distance AP à plusieurs moments également, l'élongation ainsi que la force que l'on projette sur les axes pour ainsi obtenir F_x et F_y .

On a ensuite indiqué la rotation, qui est de 90 degrés, qui est l'angle entre la position de départ et celle d'arrivée. On a aussi précisé le diamètre du vérin choisi à l'avance ainsi que la pression, que l'on avait définie à l'avance.

On fait ensuite varier quelques paramètres, qui sont : $x(A)$, la position du piston sur le bateau (en mètres), $x(P)$ et $y(P)$ (qui indiquent la position de P au cours du temps, qui est à l'autre bout du piston comme on peut le voir sur le schéma) à partir desquels on trace notre première courbe. La seconde courbe est obtenue avec le couple qui prend en compte ces paramètres que l'on a fait varier.

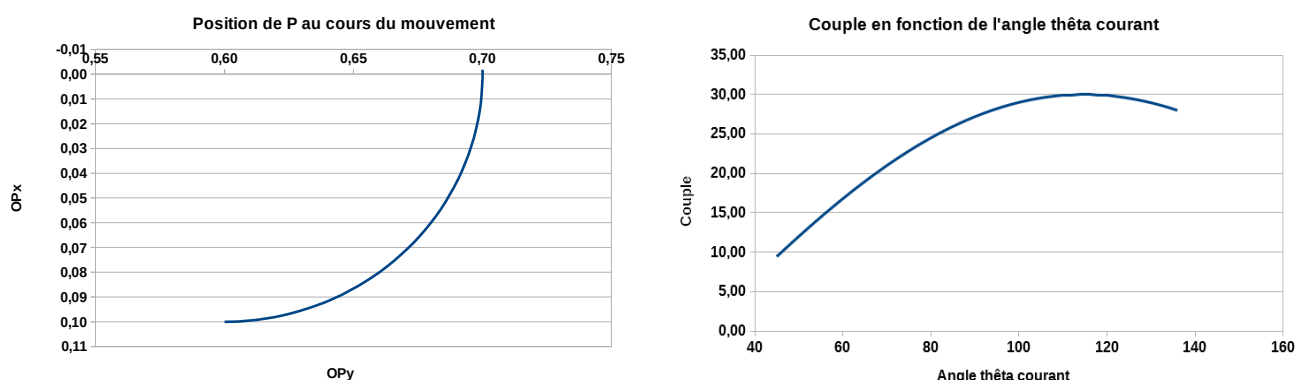
Notre objectif est de modifier les colonnes en rouge en respectant les dimensions de l'aviron (ainsi un $x(A)$ trop grand, soit plus de 4-5 mètres, se retrouvait en dehors du bateau par exemple) et de trouver un couple d'une trentaine de Nm. L'allure de la courbe est également très importante : on veut que l'assistance soit grande à la fin du mouvement, car c'est à ce moment-là que le rameur en a le plus besoin. L'idéal serait d'avoir cette droite avec une assistance progressive :

Courbe idéale du couple en fonction de l'angle



5.3.2. Diverses influences des paramètres.

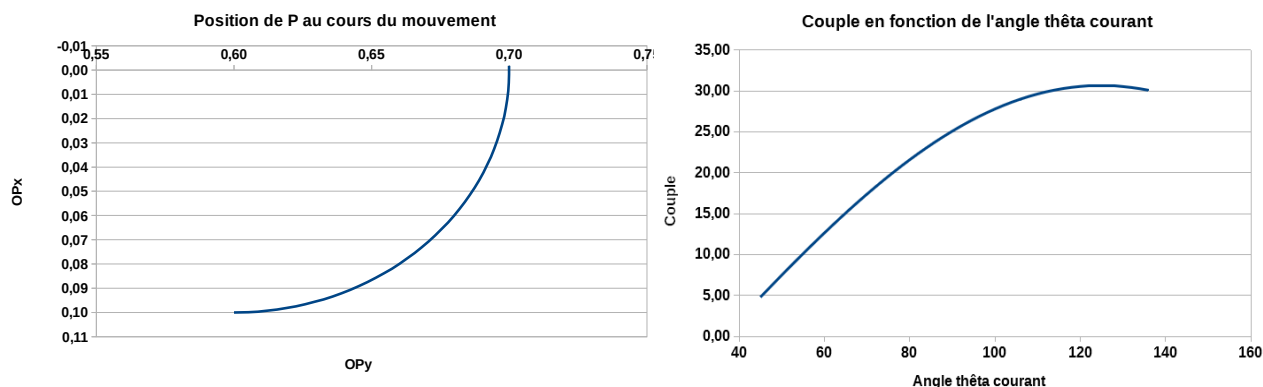
Pour obtenir le positionnement initial du vérin ainsi que la position P au cours du mouvement, nous avons réalisé une feuille Excel comme expliqué précédemment. Nous l'avons trouvée en ayant pris en compte qu'il fallait des valeurs cohérentes et que la conception soit réalisable. On obtient alors :



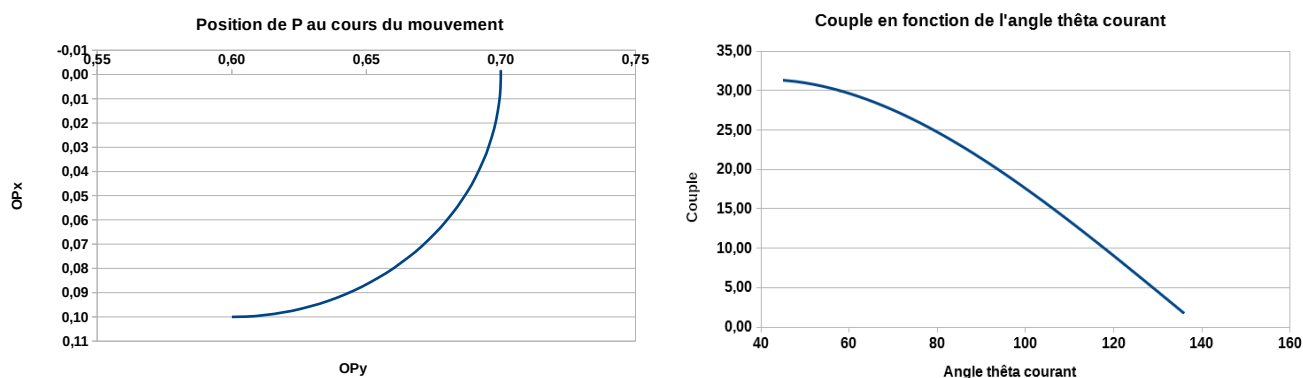
Cependant, on peut se demander si la solution initiale retenue est la meilleure possible. Pour cela, on va faire varier certains facteurs (colonnes rouges) afin de déterminer les meilleures valeurs possible.

Analyse $x(A)$:

Tout d'abord, faisons varier $x(A)$. Il faut savoir que cette valeur ne peut être comprise qu'entre -4 et 4 mètres. Commençons par l'augmenter. Si on lui affecte la valeur 4, on remarque que la courbe du couple en fonction de l'angle theta obtenu et celle de la position P au cours du mouvement sont pratiquement celles voulues :



Cependant, après réflexion et analyse, on s'est rendu compte qu'un positionnement du piston à cette distance n'était finalement pas une bonne idée, car cela gênerait le mouvement du rameur. Regardons maintenant l'influence qu'a une diminution de $x(A)$. Lorsque l'on réalise cette diminution, on obtient alors :



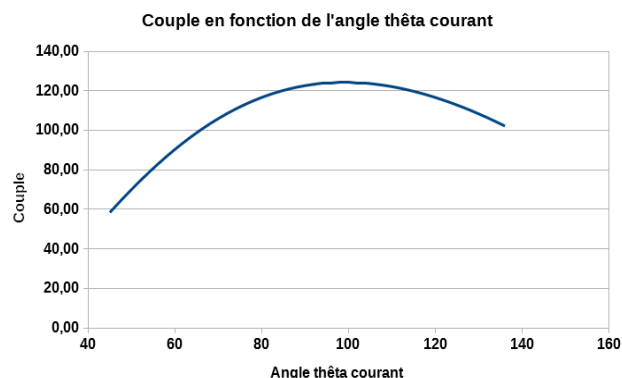
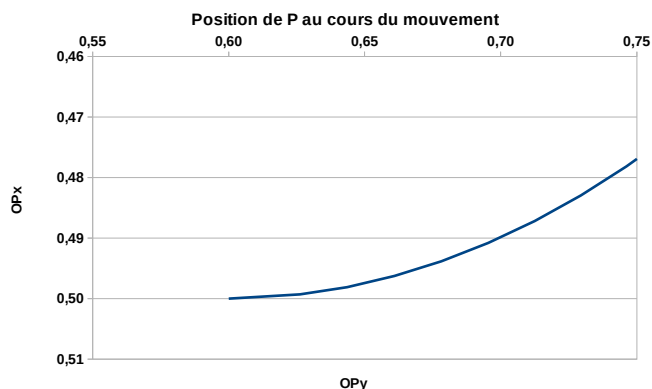
On peut penser, en voyant la courbe de la position de P que diminuer $x(A)$ est une bonne option, néanmoins quand on regarde le couple, on constate que celui-ci diminue au cours du temps donc ce qui est en contradiction avec ce que l'on souhaite, car on souhaite une assistance plus élevée à la fin du mouvement. Ainsi, la valeur de $x(A) = 2m$ est la meilleure option possible.

Analyse $x(P)$:

Analysons maintenant les conséquences induites par une modification de $x(P)$. L'important pour cette valeur est d'obtenir à la fin une courbe relative à la position qui soit réaliste : on veut un arc de cercle comme le mouvement du point P en vrai. Il est cependant nécessaire que le couple reste conforme à nos exigences.

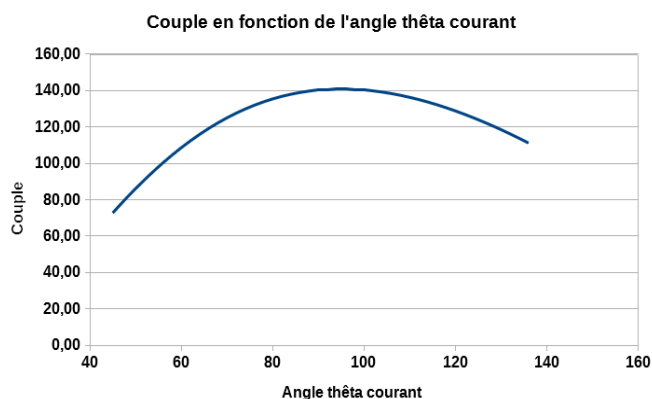
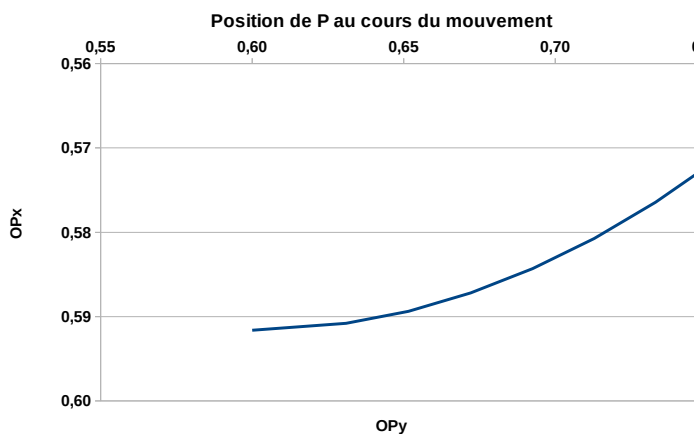
Suite à une diminution de $x(P)$, la position de P, censée décrire un arc de cercle, est conforme à nos attentes (quoiqu'un peu déformée). Ce n'est en revanche pas le cas de notre couple qui est décroissant : exactement l'inverse de ce que nous voulions.

Autre problème : nous avons fixé une valeur de 1 pour notre rayon r ; or ici elle est de 0.1 ce qui confirme que cette diminution ne correspond pas à nos exigences.



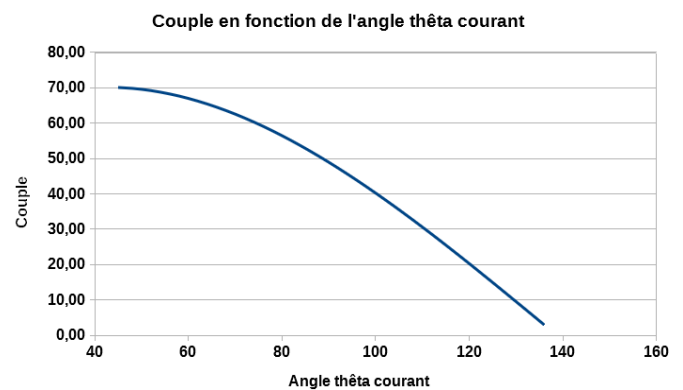
Ensuite, étudions ce qui arrive lorsque nous augmentons la valeur de $x(P)$. C'est encore moins intéressant qu'une diminution. En effet, ni le mouvement de P ni le couple ne sont bons. L'allure du couple est toutefois un peu meilleure que plus haut, mais il y a une diminution vers la fin alors que c'est là que l'aide doit être maximale. Mais les positions successives de P ne correspondent pas à la réalité.

Encore une fois, le rayon (bien qu'un peu meilleur qu'après la diminution) n'est pas en adéquation avec ce que nous voulons.



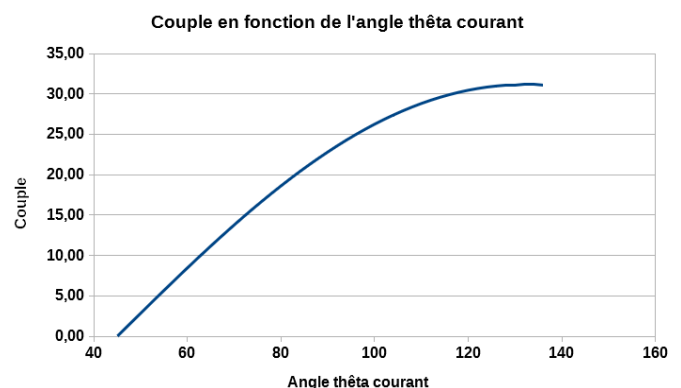
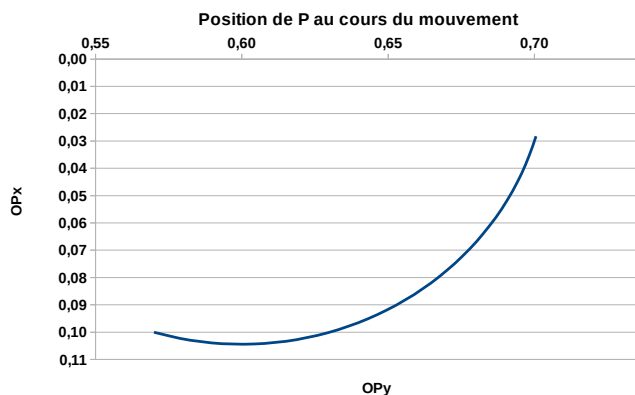
Analyse $y(P)$:

Enfin, faisons maintenant varier $y(P)$. Avant toute chose, il faut garder à l'idée que l'on veut obtenir un mouvement de rotation pour la position de P. Commençons par l'augmenter. Si on lui affecte la valeur 0.8m, on remarque que la courbe du couple en fonction de l'angle θ obtenu et celle de la position P au cours du mouvement sont les suivantes :



On remarque donc que la position de P est en dehors de notre secteur voulu, c'est donc une solution à supprimer, d'autant plus que le couple décroît ce qui va à l'encontre de nos envies. De plus, on peut voir, en Annexe, que le rayon R de la pièce, soit la distance O'P, est égal à 0.22m, contre 0.1m pour le cas initial, donc la pièce sera trop grande, ce qui confirme, une fois encore, que cette hypothèse est mauvaise.

Enfin, si on diminue un petit peu la valeur de $y(P)$ et qu'on lui affecte la valeur de 0.57m au lieu de 0.6m, on obtient les courbes suivantes :



On remarque que la position de P au cours du mouvement est celle souhaitée et que la courbe du couple est également souhaitée et même mieux encore que le cas initial, car le couple à la fin de l'effort est plus important et ne décroît pas comme cela peut le faire sur le cas initial.

Ainsi, on prendra ce cas-là (« CasRetenuFinal ») pour continuer la suite de notre projet.

6. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Le projet de P6 se définit comme un travail de groupe, il a donc fait appel à notre sens de l'organisation, de la rigueur. Chaque membre du groupe avait ses forces propres et il a fallu une volonté unanime de mise en commun des compétences pour arriver à l'élaboration d'un travail cohérent. Notre groupe a bénéficié d'une bonne ambiance et d'une cohésion solide, de plus, nous nous sommes très bien entendu avec M. VUILLAMY, notre professeur encadrant, que nous tenons à remercier une nouvelle fois pour tout ce qu'il nous a apporté au cours du semestre. Les conditions de travail ont été propices à la mise en place de séances fructueuses. Le travail de groupe sera une composante essentielle de nos professions futures et il est important d'avoir connu le plus d'expériences possible en amont de la vie active.

Le projet a véritablement débuté lors de la visite du club d'aviron de Rouen, car nous avons pu comprendre ce à quoi ressemblait réellement un skiff et saisir son fonctionnement en profondeur.

Pour ce qui est de la partie technique, nous avons compris qu'installer une assistance électrique sur un aviron était bien plus complexe que l'énoncé du sujet ne le laissait supposer : en effet, il nous a fallu créer de toutes pièces un système mécanique performant, réactiver des connaissances parfois oubliées dans la partie calculatoire (optimisation de couple, résolution d'équations différentielles, calculs de flux, ...), faire des recherches de composants avec des caractéristiques précises sur internet, effectuer des comparaisons / expériences sur des systèmes proches (compresseur de voiture) de celui que nous cherchions à mettre en place. La multitude de calculs nécessaires au bon fonctionnement d'un dispositif pourtant peu complexe nous a tous impressionnés.

Par ailleurs, nous regrettons le fait d'avoir manqué de temps pour fabriquer un prototype, cela aurait été très intéressant de confronter nos calculs à la réalité. Cette étape aurait été la suivante dans le déroulement du projet.

Nous pouvons conclure que le travail tout au long de ce dernier semestre de STPI a conduit à la conception encore théorique d'un système valide d'assistance électrique sur un bateau d'aviron.

7. **BIBLIOGRAPHIE**

[1] François Rongère, « Simulation dynamique des systèmes Bateau-Aviron-Rameur(s), école Centrale de Nantes (ECN), 2011.

[2] lien internet : http://seneffe3y.over-blog.com/pages/Les_différentes_embarcations-1736172.html
(valide à la date du 15/02/2018)

[3] lien internet : <http://cnar.free.fr/> (valide à la date du 12/06/2018)

[4] rapports des années précédentes.

8. ANNEXES

8.1. Présentation de la feuille de calcul

x(A)	y(A)	X(axe), OO'	Y(axe), OO'	X axeP	Y axeP	r	Distance O'P	x(P) Attaque	y(P) Attaque	théta attaque Deg	théta courbe Deg	Ux Attaque	Uy Attaque	O'Px Attaque	O'Py Attaque	Ax Unitaire
2	0	0	0	0,6	0,10	-0,03	0,10	0,1	0,57	45	45	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94
2	0	0	0	0,6	0,10	-0,02	0,10	0,1	0,57	45	48	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94
2	0	0	0	0,6	0,10	-0,02	0,10	0,1	0,57	45	50	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94
2	0	0	0	0,6	0,10	-0,02	0,10	0,1	0,57	45	52	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94
2	0	0	0	0,6	0,10	-0,01	0,10	0,1	0,57	45	54	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94
2	0	0	0	0,6	0,10	-0,01	0,10	0,1	0,57	45	58	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94
2	0	0	0	0,6	0,10	-0,01	0,10	0,1	0,57	45	58	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94
2	0	0	0	0,6	0,10	0,00	0,10	0,1	0,57	45	60	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94
2	0	0	0	0,6	0,10	0,00	0,10	0,1	0,57	45	62	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94
2	0	0	0	0,6	0,10	0,00	0,10	0,1	0,57	45	64	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94
2	0	0	0	0,6	0,10	0,01	0,10	0,1	0,57	45	66	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94
2	0	0	0	0,6	0,10	0,01	0,10	0,1	0,57	45	68	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94
2	0	0	0	0,6	0,10	0,02	0,10	0,1	0,57	45	70	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94
2	0	0	0	0,6	0,10	0,02	0,10	0,1	0,57	45	72	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94
2	0	0	0	0,6	0,10	0,02	0,10	0,1	0,57	45	74	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94
2	0	0	0	0,6	0,10	0,03	0,10	0,1	0,57	45	76	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94
2	0	0	0	0,6	0,10	0,03	0,10	0,1	0,57	45	78	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94
2	0	0	0	0,6	0,10	0,03	0,10	0,1	0,57	45	80	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94
2	0	0	0	0,6	0,10	0,04	0,10	0,1	0,57	45	82	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94
2	0	0	0	0,6	0,10	0,04	0,10	0,1	0,57	45	84	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94
2	0	0	0	0,6	0,10	0,04	0,10	0,1	0,57	45	86	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94
2	0	0	0	0,6	0,09	0,05	0,10	0,1	0,57	45	88	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94
2	0	0	0	0,6	0,09	0,05	0,10	0,1	0,57	45	90	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94
2	0	0	0	0,6	0,09	0,05	0,10	0,1	0,57	45	92	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94
2	0	0	0	0,6	0,09	0,06	0,10	0,1	0,57	45	94	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94
2	0	0	0	0,6	0,09	0,06	0,10	0,1	0,57	45	96	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94
2	0	0	0	0,6	0,08	0,06	0,10	0,1	0,57	45	98	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94
2	0	0	0	0,6	0,08	0,06	0,10	0,1	0,57	45	100	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94
2	0	0	0	0,6	0,08	0,07	0,10	0,1	0,57	45	102	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94
2	0	0	0	0,6	0,08	0,07	0,10	0,1	0,57	45	104	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94
2	0	0	0	0,6	0,07	0,07	0,10	0,1	0,57	45	106	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94
2	0	0	0	0,6	0,07	0,08	0,10	0,1	0,57	45	108	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94
2	0	0	0	0,6	0,07	0,08	0,10	0,1	0,57	45	110	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94
2	0	0	0	0,6	0,07	0,08	0,10	0,1	0,57	45	112	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94
2	0	0	0	0,6	0,06	0,08	0,10	0,1	0,57	45	114	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94
2	0	0	0	0,6	0,06	0,08	0,10	0,1	0,57	45	116	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94
2	0	0	0	0,6	0,06	0,09	0,10	0,1	0,57	45	118	0,71	0,71	0,10	-0,03	0,94

Illustration 16: Extrait de la feuille de calcul pour mener nos calculs

Pour optimiser la fixation du vérin sur l'aviron comme explicité dans notre rapport, nous avons réalisé dans une feuille de calcul des calculs et optimisé notre problème en faisant varier des paramètres (paramètres que l'on fait varier en rouge ici) nous permettant finalement d'obtenir le couple en fin de mouvement (on a admis que le mouvement est achevé quand l'aviron a effectué une rotation de 90 degrés). Dans ce document on retrouve :

- **x(A)** : projection du point A suivant l'axe x
- **y(A)** : projection du point A suivant l'axe y. Paramètre constant.
- **x(axe) OO'** : projection du point O' suivant l'axe x. Paramètre constant.
- **y(axe) OO'** : projection du point O' suivant l'axe y. Paramètre constant = 0,6.
- **x axeP** : composante suivant x du vecteur \vec{O}^iP au cours du mouvement
- **y axeP** : composante suivant y du vecteur \vec{O}^iP au cours du mouvement
- **r** : distance O'P qui permet de dimensionner la pièce ajoutée
- **x(P) Attaque** : projection du point P suivant l'axe x à l'attaque
- **y(P) Attaque** : projection du point P suivant l'axe y à l'attaque

- **θ attaque** : angle en degré de l'aviron par rapport à l'axe x à l'attaque. Paramètre constant.
- **θ courant** : angle en degré de l'aviron par rapport à l'axe x incrémenté de 2 degrés par ligne
- **Ux Attaque** : composante suivant x du vecteur unitaire \vec{U} à l'attaque. Paramètre constant.
- **Uy Attaque** : composante suivant y du vecteur unitaire \vec{U} à l'attaque. Paramètre constant.
- **O'Px Attaque** : composante suivant x du vecteur $\vec{O'P}$ à l'attaque. Paramètre constant.
- **O'Py Attaque** : composante suivant y du vecteur $\vec{O'P}$ à l'attaque. Paramètre constant.
- **Ax Unitaire** : composante suivant x du vecteur unitaire $\vec{A} = \frac{\|\vec{O'P}\|}{r}$ à l'attaque. Paramètre constant.
- **Ay Unitaire** : composante suivant y du vecteur unitaire $\vec{A} = \frac{\|\vec{O'P}\|}{r}$ à l'attaque. Paramètre constant.
- **Scalaire (A*U attaque)** : Produit scalaire entre le vecteur \vec{A} unitaire et le vecteur \vec{U} unitaire. Paramètre constant.
- **Beta 1** : $\hat{\beta}_1 = \left| \frac{\arccos(\vec{A} \cdot \vec{U}) \times 180}{\pi} \right|$ angle en degré entre le vecteur \vec{U} et le vecteur \vec{A} . Paramètre constant.
- **Bêta 2** : $\vec{\beta}_2 = -\vec{\beta}_1$. Paramètre constant.
- **À vectoriel U** : $\vec{A} \wedge \vec{U}$ Paramètre constant.
- **Bêta retenu** : Si $\vec{A} \wedge \vec{U} > 0$ alors on retient $\vec{\beta}_2$ sinon on retient $\vec{\beta}_1$ Paramètre constant.
- **Opx** : projection du point P suivant l'axe x.
- **Opy** : projection du point P suivant l'axe y.
- **distance AP début** : distance AP au début du mouvement, c'est-à-dire à l'attaque. Paramètre constant.
- **distance AP courant** : distance AP au cours du mouvement. Elle doit croître pour avoir des conditions favorables.
- **élongation** : Fait la différence entre la distance AP au cours du mouvement avec la distance AP initiale. Pour $\theta_{\text{courant}} = \theta_{\text{dégagé}}$, on en déduit l'élongation maximum du vérin.
- **Fx** : composante suivant x du vecteur force développée par le vérin au cours du mouvement
- **Fy** : composante suivant y du vecteur force développée par le vérin au cours du mouvement
- **Couple** : produit vectoriel entre le vecteur $\vec{O'P}$ variant au cours du mouvement et le vecteur force développé par le vérin.
- **Pression Verin** : Pression à l'intérieur du vérin en bars. On l'impose
- **Diamètre vérin** : Section du vérin en cm.

On a ensuite tracé deux graphiques : le 1^{er} trace **Opx** en fonction de **Opy** et le second trace le **couple** en fonction de l'angle **θ courant**.

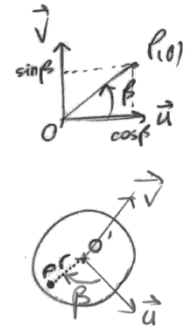
Explication des calculs :

On a :

$\vec{U} = \cos(\theta)\vec{i} + \sin(\theta)\vec{j}$ avec \vec{i} et \vec{j} vecteurs unitaires suivant x et y respectiver

$$\vec{V} = -\sin(\theta)\vec{i} + \cos(\theta)\vec{j}$$

$$\vec{O}'P = r \times \cos(\beta)\vec{U} + r \times \sin(\beta)\vec{V}$$



On calcule sous ces hypothèses le vecteur \vec{OP} :

$$\vec{OP} = \vec{OO}' + \vec{O}'P(\theta)$$

$$\vec{OP} = 0,6\vec{j} + r \times \cos(\beta)\vec{U} + r \times \sin(\beta)\vec{V}$$

$$\vec{OP} = 0,6\vec{j} + r \times (\cos(\beta)\cos(\theta) - \sin(\beta)\sin(\theta))\vec{i} + r \times (\cos(\beta)\sin(\theta) + \sin(\beta)\cos(\theta))\vec{j}$$

$$\vec{OP} = 0,6\vec{j} + r \times \cos(\beta + \theta)\vec{i} + r \times \sin(\beta + \theta)\vec{j}$$

Donc finalement :

$$\vec{OP} = (r \times \cos(\beta + \theta))\vec{i} + (0,6 + r \times \sin(\beta + \theta))\vec{j}$$

8.2. Étude de la pression à l'intérieur du vérin

Dans cette annexe, nous allons présenter le travail que l'on a fait pour vérifier que notre système sera capable de produire la force prévue. Ce travail est présenté en annexe car nous n'avons malheureusement pas eu le temps d'en tirer des conclusions concrètes sur les dimensions de notre système. Afin de vérifier que le système conçu fonctionne correctement, il nous faut vérifier que la pression dans le vérin est suffisante. Si la pression d'alimentation n'est pas suffisamment élevée ou que la tuyauterie amenant l'air comprimé est trop restrictive, l'air comprimé n'apportera pas suffisamment d'aide. Il nous faut donc étudier la pression interne dans le vérin pendant le mouvement.

On assume que l'air se comporte comme un gaz parfait.

$$P_{interne} = \frac{(m/M)RT}{V(t)} \quad \text{et} \quad m = \frac{P_{interne} V M}{RT}$$

En dérivant, on obtient :

$$\frac{dP_{interne}}{dt} = \frac{RT}{M} \frac{d}{dt} \left(\frac{m}{V(t)} \right) \quad \text{avec :} \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{m}{V(t)} \right) = \left(\frac{1}{V(t)} \frac{dm}{dt} - \frac{m}{V^2(t)} \frac{dV}{dt} \right)$$

$$\frac{dm}{dt} = Q_m = (P_{alimentation} - P_{interne})^{1/2} \left(\frac{\rho}{K} \right)^{1/2}$$

Où K est une constante qui représente la restriction due à la tuyauterie.

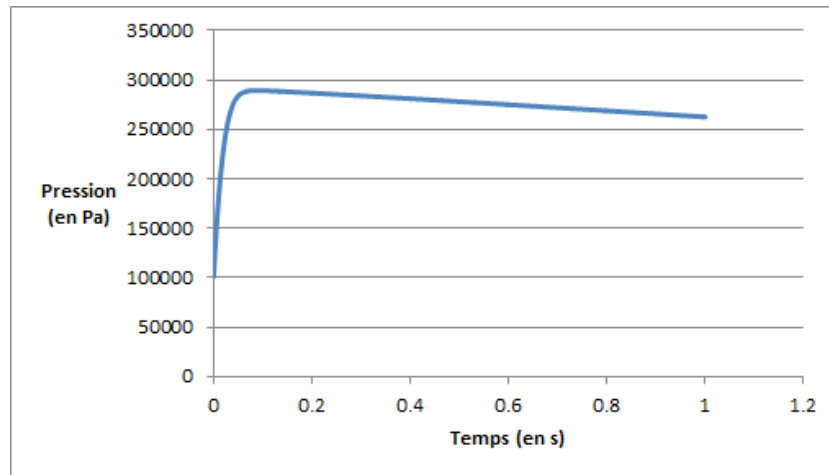
$$\frac{dP_{interne}(t)}{dt} = \frac{RT}{M} \left(\frac{Q_m}{V(t)} - \frac{m}{V^2(t)} \frac{dV}{dt} \right)$$

Grâce à cette équation nous allons pouvoir déterminer la pression à l'intérieur du vérin au fur et à mesure du mouvement.

Pour résoudre cette équation différentielle de façon numérique, nous avons écrit un court programme informatique qui évalue la pression interne en de nombreux points pendant le mouvement. Nous avons utilisé la méthode de Runge Kutta 4 qui permet une solution très précise du problème. Le programme fonctionne en utilisant une fonction qui renvoie la dérivée de la pression interne en fonction du temps à partir de la pression interne actuelle et du temps. La fonction RungeKutta4 utilise des approximations pour calculer la pression au temps $t+\delta t$ à partir de la pression au temps t . L'intégralité du programme est présentée à la fin de cette annexe.

Dans le programme, on calcule la pression interne à 10 000 points pendant la seconde de mouvement. Nous avons été obligés d'effectuer un très grand nombre d'évaluations pour éviter que les approximations effectuées renvoient une pression interne supérieure à la pression d'alimentation due à l'augmentation soudaine de pression au début du mouvement.

Pour cette simulation, on utilise les données suivantes : on a précédemment déterminé qu'une pression de 2,5 bar serait suffisante, et que la pompe alimentera les vérins avec une de 3 bar. Aussi, au début du mouvement, la pression interne sera la pression atmosphérique. Nous avons aussi utilisé les dimensions du vérin qui ont été déterminées précédemment. La seule variable non déterminée est la constante K due à la restriction de la tuyauterie. On a donc effectué plusieurs simulations pour trouver l'ordre maximal de cette constante qui permet toujours une pression interne de 2,5 bar.



Ce graphique correspond à une simulation où $K = 10^{11} \text{ m}^{-4}$. On voit que la pression reste suffisante pendant l'intégralité du mouvement mais de peu. Cette simulation correspond donc bien à la restriction maximale que l'on peut imposer à notre système tout en garantissant une pression supérieure à 2,5 bar à la fin du mouvement. La pression diminue à la fin du mouvement car le volume du vérin augmente plus rapidement puisque le vérin est placé perpendiculairement à l'aviron à ce moment afin d'obtenir un couple maximal.

Malheureusement, par manque de temps, nous n'avons pas pu étudier en détail les implications qu'ont ces résultats sur notre système. On peut néanmoins remarquer que cette constante K est analogue à l'inverse du carré d'une surface. Ainsi, le débit massique est proportionnel à la surface à travers laquelle se déplace l'air. Grâce au maximum pour la valeur de K , on peut donc en déduire un minimum pour la section de la tuyauterie qui alimente les vérins en air comprimé.

```

1  #include<stdlib.h>
2  #include<stdio.h>
3  #include<math.h>
4  #include<malloc.h>
5
6
7  //-----
8  // Fonction volume
9  //-----
10
11     double Volume(double t)
12     {
13         double V, l0, R, section;
14         l0 = 0.01; //Longueur 0 (longueur minimale du verrin en m)
15         R = 0.02; //Rayon du vérin (en m)
16
17         section = pow(R,2)*3.14159;
18         V = (0.057865*pow(t,2) + 0.07376*t + l0)*section;
19
20         return(V);
21     }
22
23 //-----
24 // Fonction dérivée du volume
25 //-----
26
27     double VolumePoint(double t)
28     {
29         double V, R, section;
30         R = 0.02;
31
32         section = pow(R,2)*3.14159;
33         V = (0.11573*t + 0.07376)*section;
34
35         return(V);
36     }
37
38
39 //-----
40 // FonctionF (Renvoie la dérivé de la pression)
41 //-----
42
43     double fonctionF(double Pint, double t)
44     {
45         double F, R, T, V, M, K, masse, rho, Pal, Qm;
46
47         R = 8.314;
48         T = 293; //(en K)
49         M = 0.029; //(en kg/mol)
50         K = 100000000000; //(10^11 m^-4)
51         rho = 1.225; //(en kg/m^3)
52         Pal = 300000; //(en Pa)
53         V = Volume(t);
54
55         Qm = sqrt( (Pal-Pint)*rho/K );
56
57         masse = Pint*M*V/(R*T);
58
59         F = R*T*(Qm/V - masse*VolumePoint(t)/pow(V,2))/M;
60
61         return(F);
62     }
63
64
65

```

```

66 //-----
67 // RungeKutta4
68 //-----
69     double* RungeKutta4(double T, int N, double Y0)
70     {
71         int i;
72         double h, ti, K0, K1, K2, K3, Yinter, *Y, Yi;
73
74         Y = (double*)malloc(N * sizeof(double));
75
76         h = T / N;
77         ti = 0;
78         Yi = Y0;
79
80         for (i = 0; i<N; i++)
81             {
82                 ti = ti+h;
83                 K0 = fonctionF(Yi, ti);
84
85                 Yinter = Yi + (h / 2) * K0;
86                 K1 = fonctionF(Yinter, ti + h / 2);
87
88                 Yinter = Yi + (h / 2) * K1;
89                 K2 = fonctionF(Yinter, ti + h / 2);
90
91                 Yinter = Yi + h * K1;
92                 K3 = fonctionF(Yinter, ti + h);
93
94                 Yinter = K0 + 2 * K1 + 2 * K2 + K3;
95                 Yi = Yi + (h/6)*Yinter;
96                 Y[i] = Yi;
97             }
98
99         return(Y);
100     }
101
102 //-----
103 // Programme principal
104 //-----
105     int main()
106     {
107         int N, i;
108         double Pint0, T, *solution;
109         FILE* unit;
110
111         Pint0 = 100000; //Pression atmos (en Pa)
112         T = 1; //temps du mouvement (en sec)
113         N = 10000; //Nombre d'évaluations
114
115         solution=(double*)malloc(N*sizeof(double));
116
117         solution = RungeKutta4(T, N, Pint0);
118
119         unit = fopen("RungeKutta4", "w+");
120         for (i = 0; i<N; i++) fprintf(unit, "%f \t %f \n", i* T/N, solution[i]);
121
122         fclose(unit);
123         return(0);
124     }
125

```

INDEX DES ILLUSTRATIONS

Illustration 1: Vue en coupe d'un aviron endommagé montrant la structure composite.....	8
Illustration 2: Vue de face d'un aviron de couple (en haut) et d'un aviron de pointe (en bas) .	9
Illustration 3: Nomenclature du bateau.....	10
Illustration 4: Nomenclature d'un aviron.....	10
Illustration 5: Les phases du coup d'aviron.....	10
Illustration 6: Système bague/vérin.....	11
Illustration 7: Position du système d'arrêt d'urgence.....	12
Illustration 8: Pédale électrique.....	12
Illustration 9: Capteur de pression.....	12
Illustration 10: Schéma des forces appliquées sur l'aviron.....	14
Illustration 11: Figure représentant l'effort en fonction du temps.....	14
Illustration 12: L'impulsion mécanique se conserve.....	15
Illustration 13: Rendu SolidWorks de la pièce.....	16
Illustration 14: Schéma coté de la pièce.....	16
Illustration 15: Schéma géométrique du problème.....	17
Illustration 16: Extrait de la feuille de calcul pour mener nos calculs.....	24