

# Dynamics of Rotating Machine:

## Queste Adrien

### Abstract

Ce poster commence par décrire les avantages de l'étude de la dynamique des rotors, ainsi que les outils qui ont été développés dans ce domaine de la dynamique des rotors pour prédire ces comportements. Nous nous pencherons également sur l'étalonnage des différents capteurs, afin de pouvoir comparer les résultats théoriques, expérimentaux et modélisés. Une comparaison de ces approches sera effectuée. Enfin, la puissance du logiciel de l'Université de Cambridge sera révélée.

### Introduction

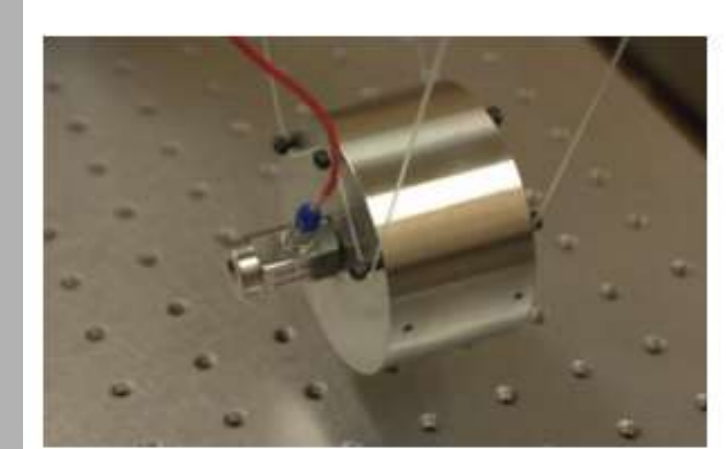


Figure 1: Rotor étudié après la conception de ces machines, certaines modifications, telles qu'un arbre légèrement déformé, peuvent avoir des conséquences négatives sur l'environnement de travail.

Ce rotor ci-contre est le rotor que nous avons étudié à l'UMONS avec Georges Kouroussis. Notre but a été de valider un logiciel sur la dynamique des rotors, de vérifier les résultats et de les comparer avec des modèles analytiques et l'expérimentation. La dynamique des machines tournantes est un sujet important à étudier, tant sur le plan académique que sur le plan industriel. Il est important d'explorer cette notion, car si l'on veut concevoir une machine tournante (arbre, roulement, charge), il est essentiel de connaître son comportement dynamique. En effet, si l'on souhaite faire tourner la machine à une certaine vitesse, qui peut s'avérer être une fréquence de résonance pour notre système alors celui-ci est voué à la destruction. De plus, même si la destruction n'est pas atteinte, il est important de savoir si les vibrations créées par la machine tournante ne vont pas être trop importantes (destruction prématurée des roulements) et si elles ne vont pas trop perturber l'environnement de travail (trop de bruit). De plus,

### 1 Calibration

L'étalonnage a été l'une des parties les plus difficiles. En fait, lorsque vous travaillez avec certains capteurs faciles à calibrer, vous ne rencontrez pas beaucoup de problèmes. Cependant, lorsque vous avez des capteurs qui nécessitent l'étalonnage d'autres capteurs et qui sont eux-mêmes des étalons, vous avez besoin d'un certificat d'étalonnage. Les mesures et leur véacité sont immédiatement plus difficiles à accepter. Nos mesures ont été faites en mesurant la réponse d'une structure soumise à un impact. Nous avons travaillé avec un vibromètre laser pour capter la vitesse qui possède son propre certificat d'étalonnage. Aucun étalonnage n'a donc été nécessaire.



L'étalonnage du capteur de force, qui était un marteau équipé d'une électronique, a également été très difficile car il s'agit d'un capteur d'impact qui ne mesure pas la charge statique de sorte qu'il était impossible de placer simplement une masse sur le capteur et de mesurer directement la sensibilité. J'ai donc essayé de mesurer la force par l'intermédiaire d'une masse suspendue équipée d'un accéléromètre triaxial, l'ensemble formant un pendule que j'ai excité à l'aide du marteau. Connaissant l'accélération de l'ensemble ainsi que la masse, la force devait être facile à déterminer. Ayant négligé la rigidité du fil ainsi que son amortissement, et malgré mes nombreuses tentatives, aucune sensibilité n'a pu être obtenue de manière reproductible donc l'influence du fil sur la masse n'a pas pu être négligée.



Figure 3: Essai 1

Une deuxième expérience donc été mise au point en utilisant un shaker. Le dispositif expérimental est visible figure 3. et doit être retravaillé, car il est prometteur pour calibrer correctement ce capteur. Sur ce dispositif, on connaissait la force car les deux accéléromètres permettaient de connaître l'accélération subie par la masse et connaissant la masse de l'accéléromètre et de la pièce brut visé sur le marteau on connaissait la force qui s'exerçait sur le marteau. Néanmoins, celui-ci devait amortir ou avoir un raideur ce qui rendait la calibration inexploitable.

### 2 Exploitation du logiciel

Sur la figure 4, on peut voir dans le logiciel à éléments finis comment le découpage ce fait à chaque noeud. Le modèle rhéologique utiliser par l'université de Cambridge est aussi visible.

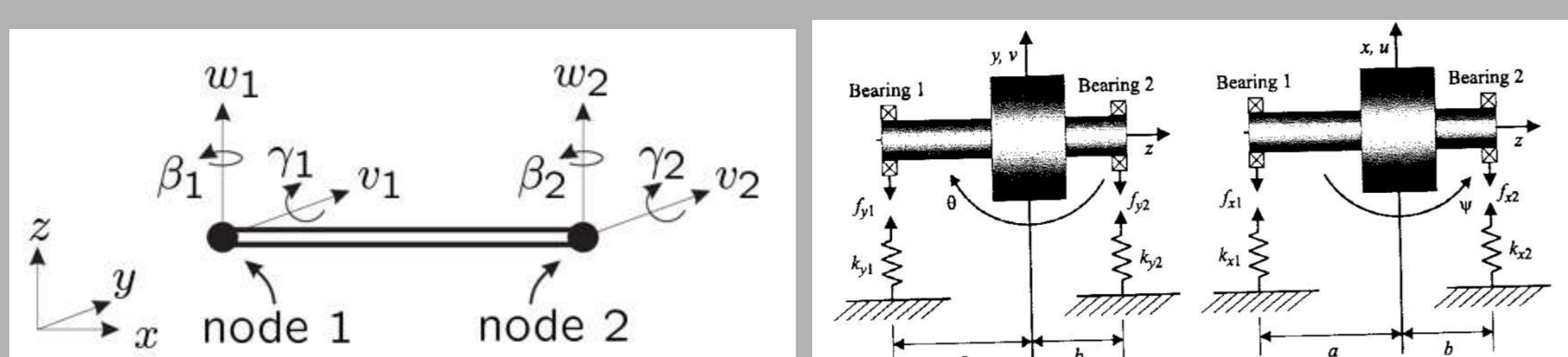


Figure 4: Fonctionnement du logiciel

### References

- [1] PENNY John ET GARVEY Seamus D FRISWELL, Michael I. Dynamics of rotating machines. Cambridge University Press, page 512, 2010.
- [2] KLAUS Leonard et MENDOZA L. Muniz KOBUSCH, Michael. Investigation of impact hammer calibrations. Proc. of IMEKO 23rd TC3, 13th TC5 and 4th TC22 International Conference, Helsinki, Finland. 2017.

Une fois, ce modèle rhéologique établi en définissant les propriétés du rotor (propriétés du matériau, type de roulement, type de disque) la figure 5 (à gauche). Puis en simulant le rotor à 0 et 1000 Rpm, on peut obtenir la forme des déformées figure 5 (au milieu et à droite).

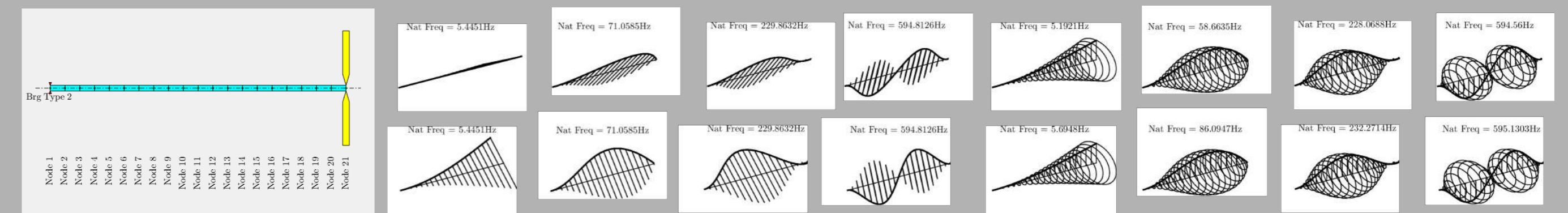


Figure 5: Exploitation du logiciel

Ce logiciel permet de montrer aussi les différentes réponses en fréquences du rotor ainsi que les vitesses critiques du rotor. Je montrerai cela dans la partie suivante. Il permet également de prendre en compte le type de poutre (Euler-Bernoulli, Rayleigh, Cisaillement et Timoshenko), le type de disque (avec ou sans inertie de rotation).

### 3 Résultats et Comparaison

La vitesse critique est le point le plus crucial à déterminer ainsi on va comparer les différentes approches sur ce point.

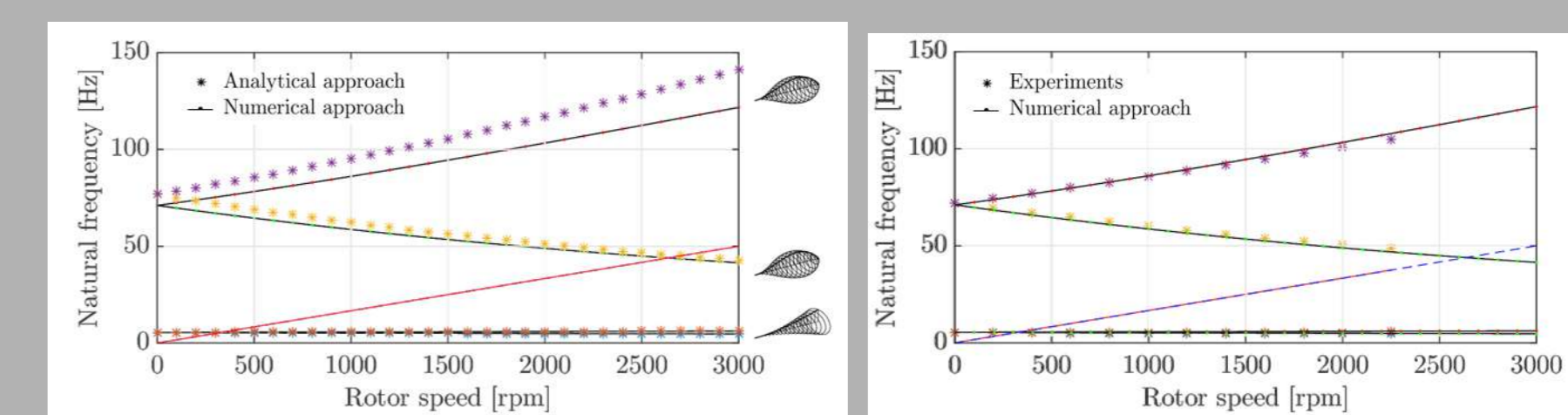


Figure 6: Vitesses critiques selon les approches

Une autre approche et de pouvoir comparer les différentes réponses en fréquences.

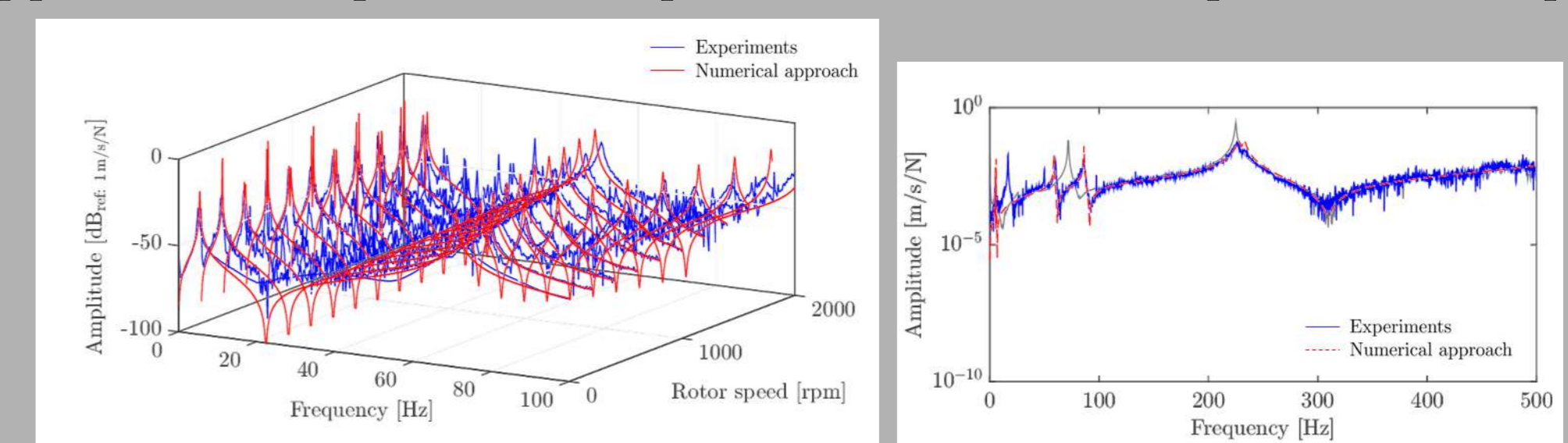


Figure 7: FRF H21 du rotor

Ce logiciel offre également de nombreuses perspectives pédagogiques et industrielles.

### 4 Perspectives

J'ai réalisé les simulations avec 3 types d'arbre de diamètre 0.1m. Un arbre en acier, un arbre en PLA et un arbre ayant le module d'Young et de cisaillement du PLA mais une densité de 20000kg/m3. Avec le logiciel j'ai réalisé la prédiction des fréquences propres en fonction de la vitesse de rotation en considérant : (1= Gyroscopic effect, 2=Cisaillement, Inertie de Rotation et Effet Gyroscopique, 3=Cisaillement et Inertie de Rotation, 4=Cisaillement et Effet Gyroscopique, 5=Inertie de Rotation et Effet Gyroscopique, 6=Cisaillement, 7=Inertie de Rotation et 8=Aucun effet)

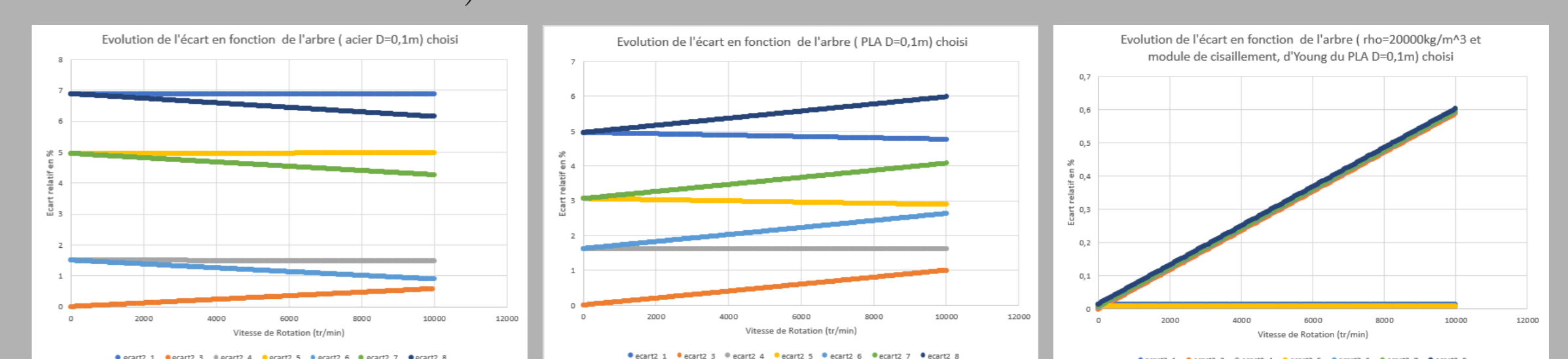


Figure 8: Écart en fonction du modèle choisi et du matériau de l'arbre

On obtient ces 3 graphes qui représentent en fonction du matériau l'écart relatif entre le modèle 2 (complet) et les autres modèles avec certains effets ignorés. On a donc ici un intérêt pédagogique. De plus, on peut modifier la structure de l'arbre (roulements/paliers, position du disque, roulement supplémentaire).

### 5 Conclusions

- La mécanique vibratoire est encore un domaine de recherche actif et prometteur
- Le logiciel propose une modélisation réaliste des systèmes réels. Il a des vertus pédagogiques et industrielles importantes. Il permet un pré-dimensionnement poussé.

**Remerciement:** L'UMONS and Georges Kouroussis pour l'accompagnement et la bienveillance.