

Un lien Industrie-Université via les stages estudiantins.

**M. BUISSON^a, M. WANNASSI^b, M. HIKIOUI^c, Q.T. LÊ^d,
R. BEN ATTIA^e, M. ABDELLAOUI^f**

Université de Rennes1

- a. manuel.buisson@univ-rennes1
- b. wannassi.manel@gmail.com
- c. mohammed.hikioui@etudiant.univ-rennes1.fr
- d. quangtrung1910@gmail.com
- e. rochdibenattiya@yahoo.fr
- f. mohammed.abdellaoui@etudiant.univ-rennes1.fr

Résumé :

Nous montrons un exemple de montée en régime d'une collaboration université-industrie où chacun apprend de l'autre : ce mutualisme est né, de fait, des stages estudiantins, éclaireurs aux interfaces enseignements – recherches et développements. Au final, c'est une équipe académique de la Francophonie qui s'est constituée ; une concertation où chacun-e apporte sa contribution pour répondre au questionnement de l'industriel.

Abstract :

We show the rise of a collaboration between university and industry where each learns from the other one: this reciprocity arose, actually, from student traineeships; pathfinders in the interfaces of teachings, researchs and developments. At last, a constituted academic team from Francophonie with a dialogue where each makes the contribution to answer the questioning of the industrial.

Mots clefs : stage, étudiant, industrie, université, consortium, compresseur, Francophonie.

1 Introduction

Le groupe SANDEN existe au Japon depuis plus de soixante dix ans ; à l'international, c'est l'un des plus grands groupes dans le domaine du froid/chaud commercial, secteur domestique et professionnel ainsi que la climatisation de l'habitacle d'automobile. Depuis une vingtaine d'années, l'antenne

européenne du groupe est installée en Bretagne à environ 20 minutes de Rennes et à proximité immédiate de la 4 voies Rennes-Saint Malo.

Via l'équipe pédagogique du Pôle de Mécanique et Technologie (PMT, Erwan BOUGUENNEC (EB) et Nicolas VIGNERON, professeurs agrégés), des étudiants de l'Université de Rennes1 ont pu accomplir des stages au sein de l'entreprise SANDEN durant la formation en Master (à l'époque Maîtrise de Technologie Mécanique) dès l'année 2002 en fonderie tout d'abord puis dans les différentes parties du site breton principalement en production et fabrication. A noter également en 2006 le recrutement chez SANDEN de 2 étudiants de Master2 Mécatronique suite à leurs stages sur le site.

Régulièrement, étudiants de différentes promotions et collègues ont été invités à visiter le site.

Ces stages étudiants et ces visites ont fait en sorte que l'Université prennent une conscience fine des problématiques technologiques très variées, multidisciplinaires (tribologie, acoustique, thermodynamiques des écoulements et des machines, couplage fluide-structure...) rencontrées par l'industriel ; les étudiants ont pu trouver des situations réelles pour appliquer leurs connaissances académiques ; sans trop spécialiser les objectifs de la formation, des enseignements ont pu bénéficier d'un nouvel éclairage améliorant l'adéquation des connaissances.

2 Premiers pas vers le consortium SINUCO :

En 2010, dans le cadre du Master2 Mécanique et Sciences pour l'Ingénieur dans la spécialité modélisation et calcul scientifique, un stage a porté sur la simulation des variations de pression dans un compresseur volumétrique à pistons. Les connaissances de thermodynamiques ont été appliquées notamment sur un modèle de gaz préconisé par le constructeur; l'étudiant, en contrat AREF¹ (Denis) a également validé ces simulations par des mesures sur banc d'essai.

En 2011², un projet de L3 Mécanique est confié à un binôme étudiant (Samira, Florent) : c'est l'étude de l'article de P. Howell[2] d'un compresseur à spirales en concentrant l'attention sur les équations constitutives et « décortiquer » son travail sur le rendu sans dimensions des équations et sa discussion sur les différents régimes d'écoulements présents dans ce montage. Les années 2011, 2012 sont riches de réunions de travail sur les développements techniques et les études de voies administratives de collaborations :

- le premier sujet de stage sur le compresseur à spirale est rédigé
- SANDEN rejoint le cercle de la Fondation de l'Université de Rennes1 et parraine le Master Modélisation et Calculs Scientifiques.

En 2013,

- sur le plan enseignement et recherche, l'étudiant (Mohd Haziq, issu de la L3 Mécanique) effectue son stage confidentiel de Master2 sur le site même SANDEN et sur des programmes propres en Excel VBA: différentes géométries importées, gaz parfait et gaz spécifique, chambres d'admission, de compression et d'échappement, clapet de refoulement simplifié pour la partie thermodynamique et étude plus précise géométriquement sur Ansys pour préparer la partie vibrations. Les fuites entre chambres sont juste esquissées.

¹ Dans « l'autre sens », rappelons la communication [1] (cfm2011, Besançon) fruit d'un stage sur le campus (projet de l'UEB/EPT/M3COTAM; métallurgie et mécanique des alliages métalliques à transformations de phases ; Prof. P. Pilvin) par un étudiant issu de SANDEN et spécialisé en contrôle et mesures, matériaux et structures, qui, par une AREF, a pu compléter son profil professionnel en s'inscrivant au Master2/Ingénierie Mécanique/Modélisation et Simulation de l'Université de Rennes1.

² Nous ne précisons pas ici les stages d'autres domaines (dynamique et équilibrage, bancs d'essais, bruits et vibrations, acoustique, bain de soudure, couplage électro magnéto thermique de l'embrayage...)

- sur le plan stratégique et après avoir (via les stages) découvert les potentialités de chaque acteur, SANDEN, l'Université de Rennes1 et la Région Bretagne mettent au point le texte du Consortium SINUCO (simulation numérique des compresseurs). La SATT (soc. d'accélération du transfert de technologies) valide ce texte ; les conventions de stages étudiants avec clause de confidentialité et lettre d'accord pour publications sont ajoutées.

3 « compresseurs à spirales³ » sous SINUCO.

3.1 L'équipe « scroll »:

L'équipe « SCROLL » est, pour la partie universitaire :

- Mme Manel WANNASSI (MW) sur contrat post-doc définit pour 10 brefs mois scientifiques : ingénieure de l'ENI MONASTIR, doctorat de l'Université de VALENCIENNE/HAINAUT CAMBRESIS
- Mrs Mohammed HIKIOUI (MH, classes prépa CASABLANCA, L3 Méca/Rennes1) et Quang Trung LE (QTL, sup HANOI, Licence Méca/Rennes1), sur leurs stages en parallèle de 6 mois du MASTER2/RENNES1 Mécatronique et Conception Avancée.
- Mrs Rochdi Ben ATTIA (RbA) et Mohammed ABDELLAOUI (MA), sur 2 mini-projets en parallèle du master1
- Mr Manuel BUISSON (MB), MCF pour l'encadrement scientifique.

3.2 La stratégie et le travail :

Les activités ont été organisées suivant deux types de travaux.

1) Travaux académiques (MW, MH, QTL, RbA, MA, MB) :

- il s'agit de la bibliographie d'articles publiés et de thèses ; il est à noter que les travaux de l'équipe BLUNIER-MIRAOUI[3][4] ont été une source très pédagogique pour nous initier à la thématique « compresseurs à spirale » .
- des publications ont été réalisées (voir le § références)
- sur le campus, les 2 projets de master1 (RbA, MA) ont travaillé les voies d'utilisation des logiciels Catia-CFD/autodesk libre académique et Catia-Vlab académique.
- les deux stages en parallèle de master2 (MH, QTL) se sont déroulés sur le campus au sein du PMT: ce sont les logiciels et licences académiques *Mathematica* et Amesim de l'UFR SPM qui ont été utilisées et les étudiants ont rédigé leurs rapports confidentiels de fin de stages *début septembre 2016* ; présentation a été faite en invitant aussi les ingénieurs SANDEN.

2) Travaux en lien avec SANDEN (MW, MB)

C'est une licence professionnelle *Mathematica* qui a été louée pour la durée du post-doc de MW.

En plus des publications académiques qui ont répondu aux questions de l'industriel, une publication[5] très particulière a eu lieu au Congrès Français de Mécanique à Lyon en 2015 avec O. DEROLLEPOT (OD) et A. MENON (AM) (SANDEN) en coauteurs parce qu'un des problèmes propres à SANDEN y a été traité (l'emplacement décentré de l'alésage d'évacuation et sa contribution sur la chronologie du profil des pressions). En accord avec SANDEN, la publication n'a pas divulgué de citations sensibles (les données SANDEN ont été filtrées pour cette publication).

³ « scroll » : nous détaillons principalement la partie académique par souci de confidentialité

L'essentiel des comptes rendus des travaux s'est fait sous forme d'ateliers réguliers programmés par l'ingénieur OD et ce en sessions restreintes aux membres du consortium. Les échanges de documents se faisaient par une plate-forme conçue par SANDEN et confidentielle.

Nous avons impulsé l'étude du compresseur à spirale en s'attachant tout d'abord à *l'écriture analytique* explicite des équations constitutives. Cela concerne donc :

- les géométries des spirales
- la loi de comportement du gaz et les évolutions qu'il subit en passant successivement dans les chambres respectivement d'admission, de compression et d'échappement (le choix initial de la loi du gaz parfait a été préconisé pour avoir fait ses preuves au stade d'études de mise au point).
- les fuites entre ces chambres
- le lien avec la thermoélasticité simplifiée du métal constitutif de ces spirales
- le système de convergence et d'ouverture intersectantes des chambres d'échappement vers un mécanisme de chasse d'une lamelle élastique à géométrie de flexion variable (ce problème est abordé dans un autre projet (bruit/acoustique/fluide-structure) du consortium; nous avons utilisé une valve simplifiée pour l'échappement tandis que notre travail se focalise sur les fuites entre chambre et l'admission (la connection avec la partie acoustique est cependant réalisable par une approche type cosimulation analogue à celle faite entre *Mathematica* et Amesim).

Nous avons ainsi défini des éléments (briques) ; le compresseur n'est autre que l'articulation dynamique et le couplage de ces éléments : nous avons pu étudier et orchestrer les systèmes couplés d'équations différentielles qui modélisent ce compresseur.

Les simulations académiques publiées ont utilisé le modèle de [3],[4] à titre de mise au point du travail avec *Mathematica* en tant qu'outil d'acquisition et de développement (il est apparu que nous avons travaillé avec la même méthode (mais fait à bien plus petite échelle) que la méthode entreprise dans [6] (tirer « *avantage des capacités natives de Mathematica en calcul formel pour transformer les équations saisies par l'ingénieur en Code C, ainsi que de la technologie Notebook pour l'édition de modèle* »).

4 Illustrations

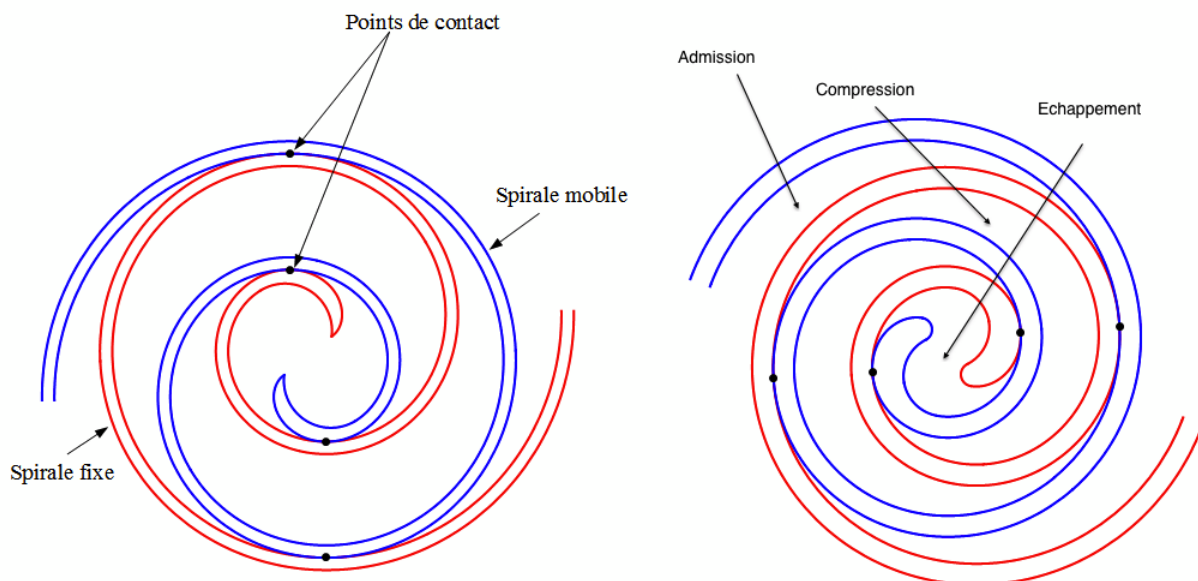


Figure 1 : D'après M. WANNASSI[5] ; à gauche, profil de la bibliographie (thèse de B. BLUNIER [3]) ; à droite, profil inspiré selon SANDEN[5].

Les deux spirales sont appariées, l'une est en translation circulaire par rapport à l'autre. La précision d'usinage est telle que les points dits de contacts correspondent en fait à un jeu souhaité le plus petit possible pour obtenir un bon rendement de compression : les fuites entre chambres [2] passent par ce jeu. Dans ce mouvement de translation circulaire, les spirales semblent glisser l'une sur l'autre aux points de contacts instantanés: la chambre d'admission se referme et devient chambre de compression qui devient ensuite elle-même chambre d'échappement ; le gaz ainsi piégé subit le processus de compression jusqu'à l'évacuation par mécanisme de chasse situé au centre[3] ou légèrement décentré[5].

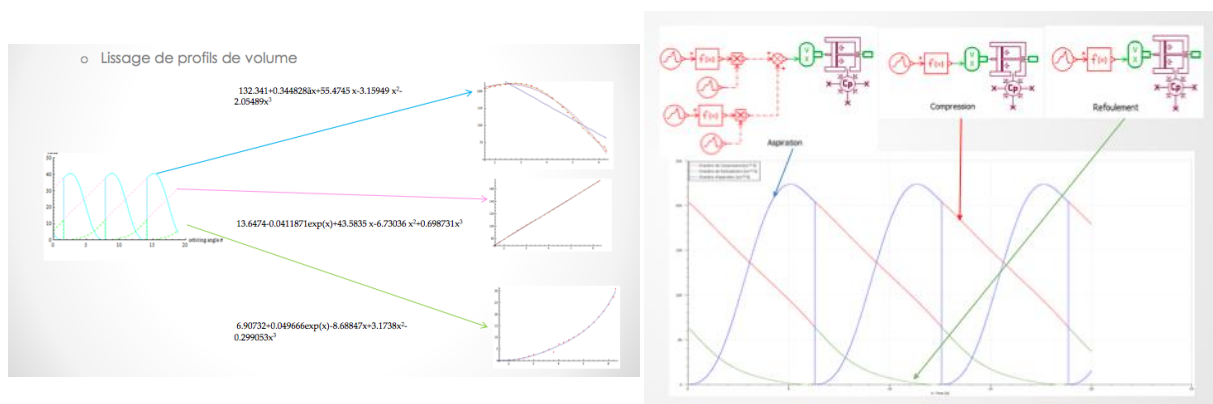


Figure 2 : prémices de cosimulation entre Mathematica (MW, MH) et Amesim (QTL). À gauche, d'après MH, la saisie *Mathematica* des équations de [3] donne l'évolution des volumes de chaque chambre. Par lissage, ces évolutions sont converties en signaux d'entrées pour Amesim dont les montages analogiques de chaque chambre sont représentés à droite selon QTL: ces signaux ainsi reproduits (ici en miroir) sont destinés à orchestrer la synchronisation (voir MW, [7]) des 3 chambres (le savoir faire étudiantin a consisté ensuite à relier avec succès ces chambres par un montage simulant les fuites entre chambre : là aussi, la trilogie MW-MH-QTL intervient en ce sens où les sections de fuites saisies analytiquement via *Mathematica* sont converties en signaux pour Amesim.

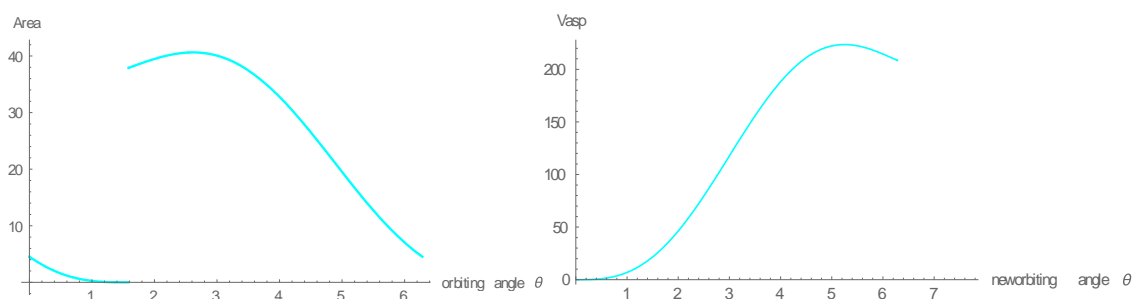


Figure 3 : La saisie analytique via *Mathematica* de l'équation du volume d'admission selon [3] rend le graphique de gauche. La discontinuité est générée selon la description de la translation circulaire (« angle orbital ») en faisant appel à test d'instruction « if » correspondant à l'apparition d'un point de contact, [3], [8]. Le logiciel permet de manipuler une fonction avec discontinuité (via l'instruction « Piecewise ») ; cependant, MH préfère réorganiser toujours analytiquement ces tests (et le sens de « rotation ») de façon à éviter cette discontinuité (« nouvel angle orbital ») : on voit cette fois à droite un volume d'admission qui part de zéro et augmente au fur à mesure que la chambre d'admission

augmente : il n'y a pas de discontinuité pour déduire par exemple le profil de pression et de température.

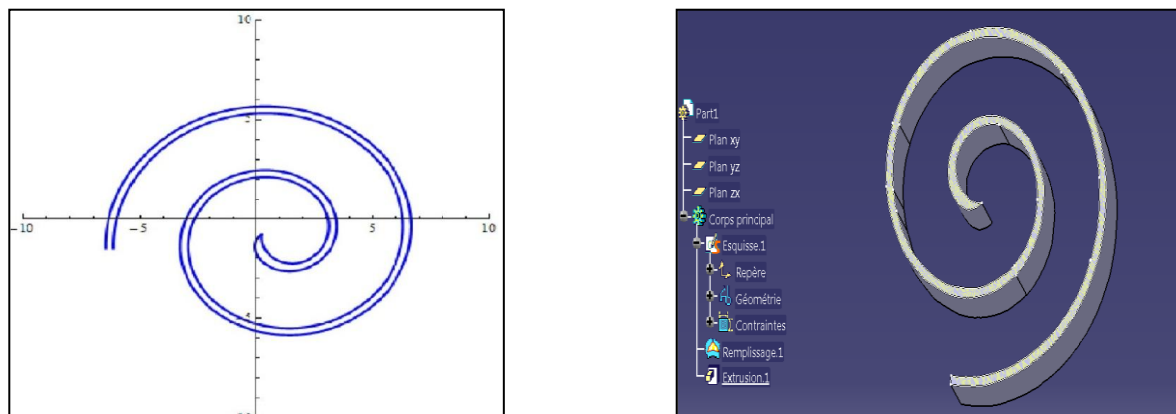


Figure 4 : Transmis par MH, ce profil de spirale [3] est importé par MA sous Catia.

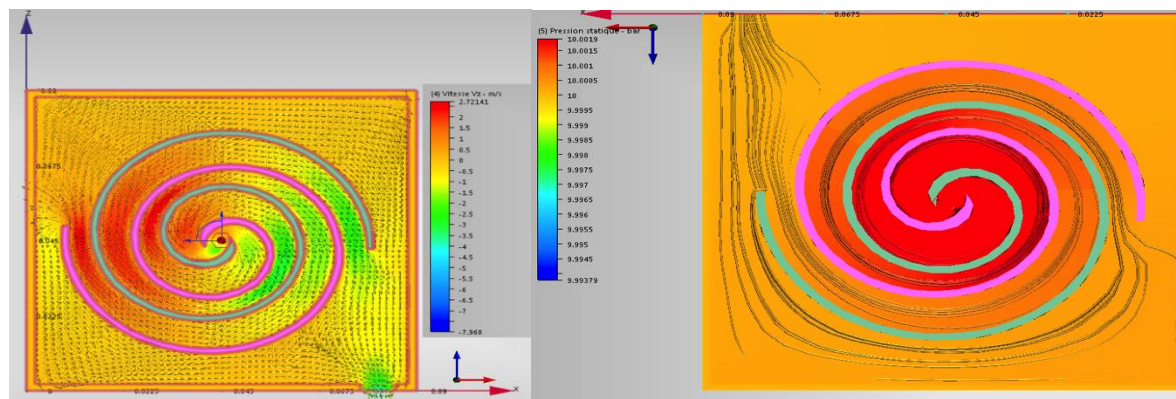


Figure 5 : RbA présente un début d'utilisation de CFD/autodesk pour la thématique compresseur à spirale. A gauche, profil des vitesses par le tracé des lignes de courant ; à droite profil des pressions. Il s'agit d'une auto-formation, l'étudiant découvrant lui-même et utilisant de sa propre initiative la licence gratuite prévue pour un contexte académique.

5 Conclusion

Pour la partie académique et pour affermir les programmes et jeux d'essais établis par MW, les deux étudiants MH, QTL, ont procédé à une forme de prémice de cosimulation entre *Mathematica* et

Amesim et le résultat obtenu *se révèle être particulièrement pertinent et efficace⁴ en ce sens que cette faisabilité était attendue par l'industriel SANDEN/France et SANDEN/Germany*. Au début du projet, l'objectif de mener à bien un travail sur 2 logiciels était mentionné « sous réserve » mais, avec les enseignements prodigués par l'équipe pédagogique (EB, Amesim ; MB, *Mathematica*) les étudiants bien armés et motivés par le contexte ont été particulièrement en phase, opiniâtres et performants. La motivation pour les « M1 », RbA et MA, était présente également, chacun apportant sa propre contribution dans ce projet fédérateur pour explorer d'autres logiciels et ce, dans un bon esprit d'équipe entre master1 et master2.

Côté industriel, les contributions de MW lors de ces ateliers/Sanden et ses publications ont été particulièrement appréciées ; elle a notamment montré que l'approche préconisée via le logiciel *Mathematica* pouvait parfaitement prendre en compte la géométrie réelle des compresseurs de l'industriel (et non pas uniquement les profils académiques de la littérature) et permettait, par la puissance analytique de ce progiciel, de se réserver des degrés d'évolutions et d'améliorations dans la modélisation, l'optimisation et la simulation. *Mathematica offre des possibilités d'évolutions et d'optimisations ; de plus il peut fournir des tableaux de résultats compatibles avec d'autres logiciels. L'écriture analytique est le reflet même de la conception du produit car le compresseur est basé sur un brevet (1905)[9] construit sur une étude géométrique judicieuse.*

Il fallait d'abord assurer la saisie analytique et tester les modèles de la bibliographie en utilisant *Mathematica* : le point clé du compresseur est qu'il est conçu sur la géométrie de deux spirales appariées. *C'est l'idée même du brevet de 1905 ; l'usage d'un logiciel de calculs analytiques et géométriques performants reprend alors l'essence même du brevet et permet d'étudier pragmatiquement des changements de forme de spirales ou d'autres paramètres...* cette étape est l'étape de base puisqu'elle fournit ensuite les fonctions clés à introduire dans Amesim ou équivalent.

La contribution des universitaires a été ici à la fois :

- d'épauler l'ouvrage pragmatique de SANDEN/Europe
- conforter l'avis de l'industriel sur les bonnes pistes à travailler et compléter son expertise en éclairant des modélisations et méthodes de calculs récentes.
- d'avoir l'audace d'innover pour renforcer l'autonomie créatrice du pôle SANDEN/Europe («un partage particulièrement efficace des tâches entre Sanden/France, Sanden/Allemagne et le partenaire académique rennais concerné.(sic) » et le montrer éventuellement pour le Japon[10].

Nous montrons ainsi comment une découverte Industrie-Université, parce que mutuelle où chacun apprend de l'autre, a monté en régime jusqu'à la création d'un consortium et ce via effectivement l'accueil de stages estudiantins chez l'industriel : une construction d'une reconnaissance mutuelle des spécificités de chaque intervenant. L'étudiant est placé à l'interface industrie-université et cela agit comme révélateur de l'efficacité de ses connaissances, catalyseur de réalisations pratiques et source de prises d'initiatives créatrices.

C'est aussi une équipe d'étudiant-e-s qui s'est constituée, finalement tout-e-s de la Francophonie et qui ont œuvré à composer leurs connaissances reçues pour répondre au questionnement industriel.

⁴ leurs rapports traitent de 3 chambres (admission, compression, échappement par clapet simple) couplées par les fuites selon un système qui est pragmatique pour une première étude et qui offre une bonne cohérence comparée à des travaux publiés en octobre 2016 par le centre de calcul SANDEN/Germany en collaboration avec la société logicielle).

Remerciements

Les auteur-e-s remercient l'Université de RENNES1, l'équipe SANDEN/EUROPE et la Région BRETAGNE.

Références

- [1] F. Guilbert, M. Buisson, Force d'Eshelby et déformation propre équivalente, jeu virtuel simple de croissance ellipsoïdale cristalline. Congrès Français de Mécanique , Besançon, 2011
- [2] P. Howell, Fluid mechanical modelling of the scroll compressor, University of Oxford, Mathematical Institute, (<https://core.ac.uk>), 1999.
- [3] B. Blunier, Thèse de l'Université de Franche-Comté/Belfort-Montbéliard, 2007
- [4] B. Blunier, G. Cirrincione, A. Miraoui, Novel geometrical model of scroll compressor for the analytical description of the chamber volumes. In: Proceedings of International Compressor Engineering Conference at Purdue, no. CO74, 2006.
- [5] M. Wannassi, M. Buisson, A. Menon, O. Derollepot, Modèle analytique pour le processus de refoulement dans le compresseur à spirales. Congrès Français de Mécanique , Lyon, 2015 Août
- [6] L. Farence, Y. Papegays, L'éditeur de modèle Mosela, développé par Airbus en collaboration avec l'INRIA. Congrès Français de Mécanique , Lyon, 2015.
- [7] M. Wannassi, M. Buisson, Geometrical Analysis of a Scroll Compressor and Fluid Mechanical Modelling (2015) Sixt Intern. Congress. on Design and Modeling of Mech. Systems, CMSM Hammamet-Tunisie ; in Design and Modelling of Mechanical Systems - II.Lecture Notes in Mechanical Engineering ; Springer International Publishing (2015) 755-764
http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-17527-0_75
- [8] M. Wannassi, M. Buisson, Scroll Compressor , Fluid mechanical modeling, 12th INTERNATIONAL MATHEMATICA SYMPOSIUM, IMS15, Prague 2015
<http://internationalmathematicsymposium.org>
- [9] L. Creux, Rotary engine, U.S Patent 801182, 1905.
- [10] M. Buisson, Scroll compressor (I), 5th WORKSHOP NIMS⁵– UR1 – CNRS – Saint Gobain, October 11-13, 2015

⁵ Nippon Institute of the Metallurgical Society