

GUIDE utilisateur JavaProp



JAVAPROP – Guide de l'utilisateur

Table des matières.....	1
1. Introduction	3
2. Symboles et Coefficients	4
Symboles	4
Coefficients	4
3. Hélices	7
Comment concevoir une hélice	7
La carte de conception	7
La carte des profils	9
Comment analyser une hélice	20
La carte Multi-Analyses	20
Le champ d'écoulement autour de l'hélice	27
4. Éoliennes	28
Orientation du profil	30
Comment concevoir une éolienne.....	31
Comment analyser une éolienne.....	32
5. Validation de JAVAPROP	33
6. Contrôler JAVAPROP à partir d'applications externes	35
Utiliser JAVAPROP avec Gnu OCTAVE	35
Utiliser JAVAPROP avec MATLAB	37
Utiliser JAVAPROP avec MATHÉMATIQUE	37
Utiliser JAVAPROP avec MAPPLE	42
Le modèle objet de l'hélice	42
7. Références	43
8. Localisation	44
9. Historique des versions incomplet	45

**Cette traduction en français du guide de l'utilisateur
JAVAPROP
de Martin Hepperle
est ici fournie gratuitement et ne peut être vendue.**

Il existe une traduction en français sur internet :

→ <http://techniquemodelisme.free.fr/Modelisme/Javaprop.htm>

Il s'agit de pages Web, pas d'un document PDF.

1. Introduction

JavaProp est un outil simple pour la conception et l'analyse d'hélices et d'éoliennes. Dans ses limites, elle s'applique aussi bien aux applications aéronautiques qu'aux applications marines. Les méthodes classiques de conception et d'analyse des éléments de pale mises en œuvre sont basées sur un couplage de considérations d'impulsion avec des caractéristiques bidimensionnelles de profil aérodynamique. Il est donc possible de considérer différentes sections de profil aérodynamique et l'impact de leurs caractéristiques sur les performances du rotor.

Ce document décrit l'application pure de JAVAPROP et n'est pas une description complète de la théorie sous-jacente. Pour une description du contexte théorique, le lecteur est renvoyé aux références citées à la page 35.

En tant qu'outil relativement simple, les capacités de JAVAPROP ne doit pas être exploité au-delà des limites raisonnables. La théorie sous-jacente de l'impulsion de l'élément de pale est valable pour la conception et l'analyse de nombreuses hélices tant que

- la charge du disque de l'hélice n'est pas trop élevée (coefficient de traction $T_c \lesssim 2$), lequel exclut les conditions de fonctionnement statiques,
- le nombre de pales est faible (disons inférieur à 15) de sorte qu'aucune interaction forte due au chevauchement et à l'épaisseur ne se produit,
- les effets tridimensionnels sont faibles (pas d'ailettes, pas de pales très incurvées), et
- les effets d'écoulement compressibles sont faibles et principalement bidimensionnels ($M_{\text{pointe}} < 1,0$).

2. Symboles et Coefficients

Symboles

Dans le domaine des hélices et des éoliennes, diverses définitions sont utilisées pour décrire la géométrie, les conditions de fonctionnement et les performances. JavaProp suit principalement la notation américaine traditionnelle telle que décrite dans les tableaux suivants.

A noter que dans certaines publications les coefficients du même nom (ex. T_C) sont utilisés et suivent leurs propres définitions – soyez donc prudent lorsque vous comparez les résultats.

Symbole	Description	Unité
D	Diamètre	m
D_{sp}	diamètre du cône ou du moyeu	m
$R = \frac{D}{2}$	rayon	m
RPM	tours par minute	1/min
$n = \frac{RPM}{60}$	tours par seconde	1/s
P	Puissance	W
T	Traction	N
V_∞	vitesse d'entrée axiale (vitesse de vol, vitesse du vent)	m/s
$S = \pi \cdot R^2 = \pi \cdot \frac{D^2}{4}$	surface du disque	M^2
ρ	densité du milieu	Kg/m^3
$\Omega = 2 \cdot \pi \cdot n$	vitesse angulaire	1/s
$AF = N_{blades} \cdot \frac{100000}{16} \cdot \frac{1}{2} \cdot \int_{\frac{r}{R}=0.15}^{\frac{r}{R}=1} \frac{c}{R} \cdot \left(\frac{r}{R}\right)^3 \cdot d\frac{r}{R}$	Facteur d'activité de l'hélice	-

Coefficients

Description	Définition	Conversions
coefficient de traction (hélice)	$C_T = \frac{T}{\rho \cdot n^2 \cdot D^4}$	$= \frac{\pi}{8} \cdot T_C \cdot \left(\frac{v_\infty}{n \cdot D}\right)^2$ $= \frac{\pi}{8} \cdot \eta \cdot P_C \cdot \left(\frac{v_\infty}{n \cdot D}\right)^2$ $= \eta \cdot \frac{C_P}{\left(\frac{v_\infty}{n \cdot D}\right)}$
coefficient de traction (hélice)	$T_C = \frac{T}{\frac{\rho}{2} \cdot v_\infty^2 \cdot S}$	$= \frac{T}{\frac{\rho}{2} \cdot v_\infty^2 \cdot \pi \cdot R^2}$ $= \frac{8}{\pi} \cdot \frac{C_T}{\left(\frac{v_\infty}{n \cdot D}\right)^2}$ $= \frac{8}{\pi} \cdot \eta \cdot \frac{C_P}{\left(\frac{v_\infty}{n \cdot D}\right)^3}$
coefficient de puissance (hélice)	$C_P = \frac{P}{\rho \cdot n^3 \cdot D^5}$	$= \frac{\pi}{8} \cdot P_C \cdot \left(\frac{v_\infty}{n \cdot D}\right)^3$ $= \frac{\pi}{8} \cdot \frac{1}{\eta} \cdot T_C \cdot \left(\frac{v_\infty}{n \cdot D}\right)^3$ $= \frac{1}{\eta} \cdot \frac{C_T}{\left(\frac{v_\infty}{n \cdot D}\right)}$ $= \left(\left(\frac{v_\infty}{n \cdot D}\right) \cdot \frac{1}{C_S}\right)^5$
coefficient de puissance (hélice, éolienne)	$P_C = \frac{P}{\frac{\rho}{2} \cdot v_\infty^3 \cdot S}$ $= C_{P \text{ wind turbine}}$	$= \frac{8 \cdot P}{\rho \cdot v_\infty^3 \cdot \pi \cdot D^2}$ $= \frac{P}{\frac{\rho}{2} \cdot v_\infty^3 \cdot \pi \cdot R^2}$ $= \frac{8}{\pi} \cdot \frac{C_P}{\left(\frac{v_\infty}{n \cdot D}\right)^3}$ $= \frac{8}{\pi} \cdot \frac{1}{\eta} \cdot \frac{C_T}{\left(\frac{v_\infty}{n \cdot D}\right)^2}$
efficacité (hélice)	$\eta = \frac{T \cdot v}{P}$	$= \frac{T_C}{P_C}$ $= \frac{C_T}{C_P} \cdot \left(\frac{v_\infty}{n \cdot D}\right)$
rapport d'avance (hélice)	$J = \frac{v_\infty}{n \cdot D}$	$= \pi \cdot \lambda$
rapport d'avance (hélice)	$\lambda = \frac{v_\infty}{\Omega \cdot R}$	$= \frac{1}{\pi} \cdot \frac{v_\infty}{n \cdot D}$
rapport de vitesse (moulin à vent)	$X = \frac{\Omega \cdot R}{v_\infty}$	$= \frac{1}{\lambda}$

3. Hélices

Comment concevoir une hélice

JavaProp contient un puissant module de conception inverse directe. La conception inverse signifie que vous ne spécifiez que quelques paramètres de base et JAVAFOIL produit une géométrie qui a automatiquement l'efficacité maximale pour les paramètres de conception sélectionnés. Ce qui est beau, c'est que JAVAPROP crée une hélice optimale avec seulement 5 paramètres de conception plus une sélection de points de fonctionnement du profil aérodynamique le long du rayon. Vous pouvez modifier ultérieurement cette conception pour l'adapter à des conditions supplémentaires hors conception.

Les fiches suivantes sont pertinentes pour la conception d'une hélice :

- Conception,
- Profils aérodynamiques,
- Options.

La carte Conception

The screenshot shows the 'Design' tab of the JavaProp software interface. It contains a form for entering design parameters and a table of calculated results.

Enter Design Parameters and press the 'Design It!' button.

Propeller Name:

Number of Blades B: [-]

Revolutions per minute rpm: [1/min]

Diameter D: [m]

Spinner Dia. Dsp: [m]

Velocity v: [m/s]

Power P: [W]

shroud chord: [-]

shroud angle: [°]

shrouded rotor square tip open hub

Propeller			
$v/(nD)$	1.2	$v/(\Omega R)$	0.382
Efficiency η	80.507 %	loading	low
Thrust T	80.5 N	Ct	0.038
Power P	999.98 W	Cp	0.0566
Torque Q	95.49 Nm	Cs	2.1311
β at 75%R	34°	Pitch H	7.94 m

Remark: The RPM setting is also used for Analysis page.

Figure 1 : Carte de conception après la réalisation d'une conception.

La carte de conception contient la plupart des paramètres requis pour une conception. Il est possible d'effectuer une conception soit pour

- puissance (l'hélice consommera la puissance spécifiée),
- traction (l'hélice produira la traction spécifiée), ou
- couple (l'hélice consommera le couple spécifié).

Option hélice carénée

La répartition de la traction le long d'une hélice à bouts de pales libres tombe à zéro en bouts de pales. Si un carénage est ajouté à l'hélice, cette "perte en bouts de pales" est supprimée.

De plus, la section profilée de la tuyère peut être inclinée pour former une tuyère convergente ou divergente. Ainsi, le carénage accélère ou ralentit l'écoulement à travers l'hélice. JAVAPROP modélise cet effet par une approximation assez grossière du champ d'écoulement réel. Le carénage est remplacé par un anneau vortex dont l'intensité de circulation dépend de l'angle de la section de la tuyère. Le but de ce modèle est de soutenir la conception de la pale en fournissant une approximation de la vitesse d'entrée locale pour obtenir une distribution d'angle de pale plus raisonnable pour le carénage.

Le carénage est caractérisé par deux paramètres : sa longueur de corde relative c/R et son angle d'inclinaison de profil α . Pour simplifier le modèle, la section du profil est supposée symétrique – et mince. Si vous utilisez une section cambrée (pour s'adapter au champ d'écoulement local et pour éviter la séparation de l'écoulement), vous pouvez adapter l'angle d'inclinaison en conséquence.

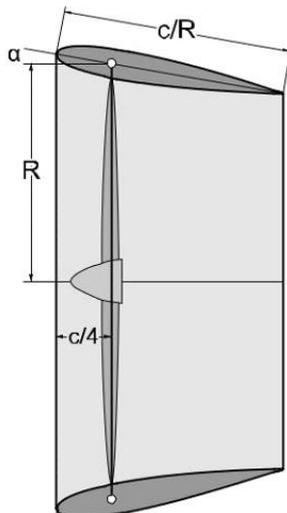


Figure 2 : carénage avec longueur de corde relative c/R et angle d'inclinaison α .

Option bout de pale carré

La procédure de conception optimale crée des pales avec des bouts arrondis. Comme cela n'est pas toujours pratique, l'option "bout carré" produit un bout de pale avec une longueur de corde finie par simple extrapolation de la dernière section.

Option hub ouvert

JavaProp utilise le "facteur de perte en bout de pale" dérivé par Prandtl pour modéliser l'effet en bout de pale et aussi le nombre fini de pales. Une correction similaire peut être appliquée si le moyeu est "ouvert", c'est-à-dire que la pale n'est pas strictement fixée à un moyeu cylindrique. Une telle situation représente une hélice avec un trou ouvert au lieu d'un moyeu fermé. En fonction du diamètre donné du moyeu, ou nez d'hélice, ce moyeu ouvert entraîne une perte locale de portance. Cela affecte également la méthode de conception de l'hélice. Une telle correction peut également être utilisée lorsque la corde de la pale est brusquement modifiée près du moyeu de sorte qu'il existe un espace relativement large entre le moyeu et le pied de pale.

Charge

La procédure de conception optimale fonctionne bien pour les hélices légèrement ou moyennement chargées. Bien que le terme chargement ne soit pas clairement défini, JAVAPROP trie la conception en trois catégories en fonction du coefficient de traction T_C :

- $T_C > 1$: très chargé,
- $T_C > 0,25$: charge moyenne,
- $T_C \leq 0,25$: peu chargé.

Si le chargement est très élevé, la théorie deviendra de plus en plus imprécise.

La Carte Profils Aérodynamiques

En plus des paramètres de base sur la carte Conception, les profils aérodynamiques doivent être sélectionnés et leur point de fonctionnement doit être spécifié sur la carte Profils Aérodynamiques. JAVAPROP est livré avec quelques sections de profils aérodynamiques intégrées. Pour chaque section, les tableaux des coefficients de portance et de traînée en fonction de l'angle d'attaque sont présentés sous forme de graphiques sur la carte Profils Aérodynamiques.

Pour la conception, il est nécessaire d'attribuer des profils aérodynamiques à quatre positions radiales - JAVAPROP interpole linéairement entre ces sections de conception. Vous définissez le coefficient de portance et de traînée en sélectionnant un angle d'attaque pour chaque position. Notez que l'efficacité maximale absolue est obtenue lorsque les sections de profil aérodynamique sont exploitées à leur L/D maximal individuel. Pour les hélices du monde réel, qui doivent également être utilisables à basse vitesse en dehors des conditions de conception, il est généralement préférable de sélectionner des angles d'attaque inférieurs au point de L/D maximum. Cela est particulièrement vrai pour les sections intérieures vers le pied de pale, qui voient une grande variation d'angle d'attaque avec la vitesse d'avancement.

Supprimer l'option de traînée de profil aérodynamique

Parfois, il est intéressant de voir l'effet de la traînée du profil aérodynamique sur les résultats. Au lieu de préparer des polaires spéciales avec des coefficients de traînée de zéro, cette option permet de remplacer le coefficient de traînée contenu dans les polaires.

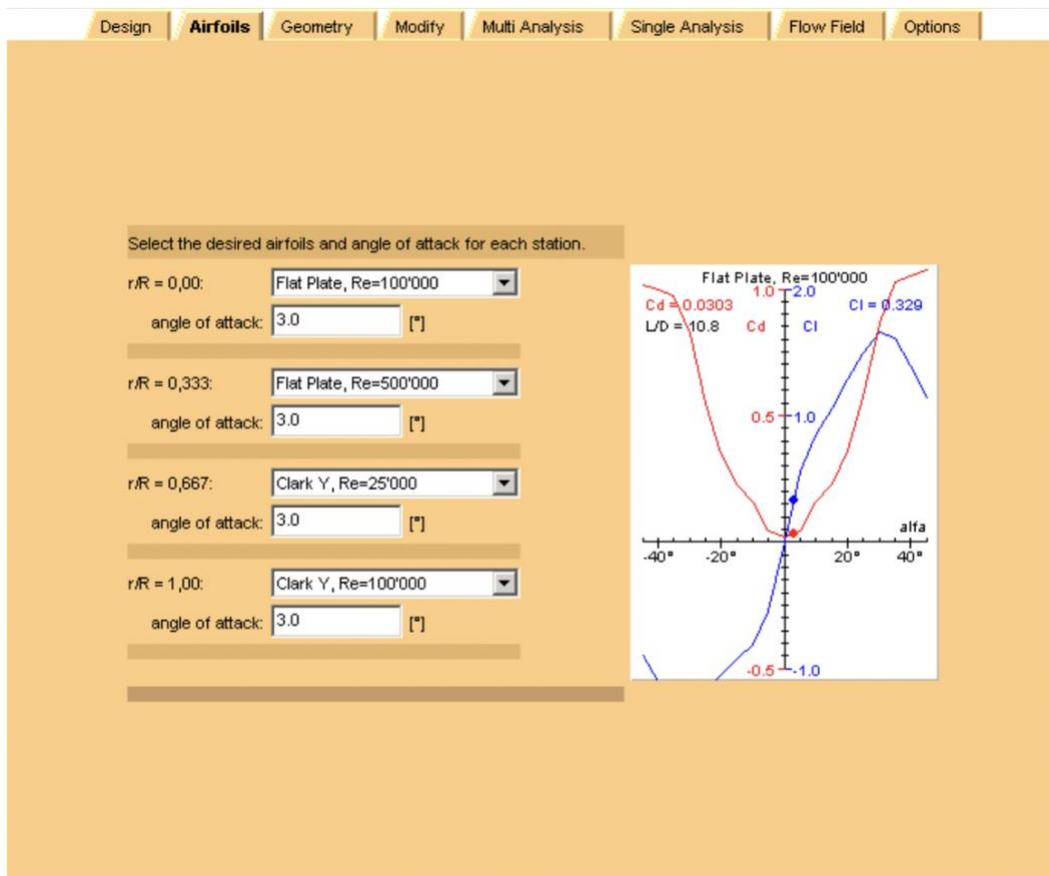


Figure 3 : Carte Profils Aérodynamiques avec quatre sections de conception et un graphique des coefficients de portance et de traînée en fonction de l'angle d'attaque.

Comment utiliser vos propres profils aérodynamiques

JAVAPROP est livré avec un ensemble de profils aérodynamiques en conserve et de polaires associées. Celles-ci sont suffisantes pour les premières étapes, pour comprendre les principaux paramètres de conception et également pour de nombreuses applications typiques.

Néanmoins, certains utilisateurs peuvent souhaiter ajouter leurs propres données de profil aérodynamique. Ceci est possible dans le cas d'une installation locale en stockant des fichiers supplémentaires dans le répertoire d'installation de JAVAPROP¹.

Polaires de Profil Aérodynamique

Les fichiers de données polaires doivent être nommés "af_#.polar.EXT", où le caractère # représente un numéro de série et l'extension EXT est soit "af" soit "xml". JAVAPROP recherchera les fichiers commençant par "af_1.polar", en essayant d'abord l'extension ".af". Si aucun fichier correspondant n'est trouvé JAVAPROP essaie le nom de fichier alternatif se terminant par "xml". Si un fichier correspondant a été trouvé, il est lu et l'index de profil aérodynamique est incrémenté jusqu'à ce qu'aucun fichier correspondant ne soit trouvé (parce qu'il n'existe plus de fichiers ou que les noms de fichiers ont un trou dans leur numérotation). Notez que les noms de fichiers doivent être composés de caractères minuscules si votre système est sensible à la casse comme les systèmes Linux.

Format XML

Les fichiers de données de polaires au format "xml" sont dans mon format standard XML. Ceux-ci peuvent être créés avec JAVAFOIL de la carte Polar en enregistrant la polaire avec l'extension ".polar.xml". Le fichier doit contenir au moins les trois variables "alpha", "Cl" et "Cd" déclarées dans le bloc <variables>.

¹ Cette option n'est pas disponible lorsque JAVAPROP est exécuté via WEBSTART ou comme un APPLLET dans un navigateur, car ces applications ne sont pas autorisées à accéder au système de fichiers de votre ordinateur pour des raisons de sécurité

JAVAPROP ne lira que la première <configuration> trouvée dans le fichier, il est donc recommandé d'effectuer l'analyse pour un seul nombre de Reynolds proche du nombre de Reynolds survenant pendant le fonctionnement de l'hélice. Vous pouvez avoir autant de points de données dans le régime de -180° à $+180^\circ$, mais il suffit généralement de fournir des polaires dans une plage de -45° à $+45^\circ$ par pas de $2,5$ degrés. JAVAPROP ajoute automatiquement des points de données à $\pm 90^\circ$ s'ils ne sont pas fournis. Afin d'obtenir des résultats réalistes, il est logique de sélectionner une rugosité standard NACA et aucune finition de surface parfaite. Notez que JAVAPROP n'utilise qu'une seule polaire, vous devez donc créer une polaire pour un seul nombre de Reynolds typique pour la position radiale souhaitée.

Format AFL

Les fichiers de données de polaires au format "afl" sont des fichiers texte avec exactement 5 lignes d'en-tête, suivies de points de données décrivant les polaires du profil aérodynamique. La première ligne contient le nom du profil aérodynamique et apparaîtra dans les listes déroulantes de la carte Profils Aérodynamiques.

Profil aérodynamique tabulé 1				
Il s'agit d'un fichier polaire de profil aérodynamique pour JAVAPROP. Il peut avoir jusqu'à 1000 triplets de données. Ce format sera remplacé par mon formulaire airfoil-polar-XML dans une prochaine version.				

alpha	cl	cd	cm	
-180.00000	0.00000	0.49786	-0.13940	
-175.00000	0.19970	0.27181	-0.07611	
... some polar points omitted...				
178.00000	-0.08022	0.00005	-0.00001	
179.00000	-0.04013	0.00001	-0.00000	
180.00000	-0.00000	0.00000	-0.00000	

Figure 4 : Exemple d'un ensemble de données polaires de profil aérodynamique tabulé. Certains points de données ont été omis pour plus de clarté.

Il est recommandé d'utiliser le format XML, le format AFL n'existe que pour la rétrocompatibilité.

Géométrie du Profil Aérodynamique

En plus des données polaires, vous pouvez également fournir un ensemble de coordonnées représentant la géométrie de votre profil aérodynamique. La géométrie du profil aérodynamique est facultative et n'est utilisée que pour exporter la pale d'hélice vers des systèmes CAO au format IGES ou DXF. Vous pouvez également voir la forme du profil aérodynamique dans les coupes transversales sur la carte de géométrie. Si vous ne fournissez pas de géométrie JAVAPROP utilise la forme de section par défaut qui est une plaque plate simple.

Pour cette fonctionnalité, vous fournissez un autre fichier utilisant un schéma de nommé de manière similaire. Les fichiers de coordonnées sont nommés "af_#.geometry.xml". Le numéro de série # doit correspondre au fichier polaire, mais comme la géométrie est facultative, il n'est pas nécessaire de fournir les coordonnées pour chaque fichier polaire. Si une géométrie de profil aérodynamique correspondante a été trouvée et lue, la chaîne "(*)" est ajoutée au nom du profil aérodynamique. Les fichiers de coordonnées utilisent mon format XML standard qui peut être écrit par la Carte Géométrie JAVAFOIL.

Notez que le nombre de points de coordonnées de chaque section est réduit à 61 points par interpolation afin de minimiser la consommation de mémoire. Il est recommandé d'ouvrir le bord de fuite à une épaisseur finie de 0,5 % de la longueur de la corde pour éviter les problèmes de génération de surface dans les logiciels de CAO ainsi que les problèmes de fabrication. Cette ouverture peut être réalisée à l'aide de la Carte Modifier.

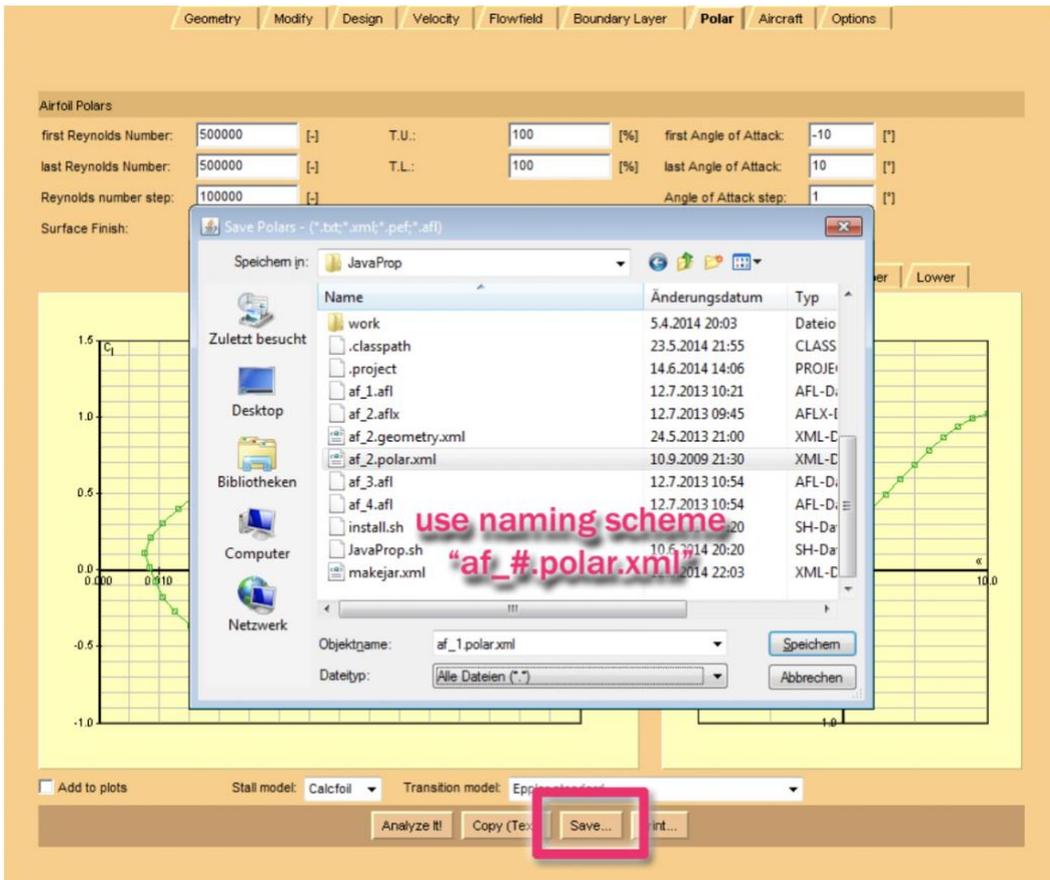


Figure 5 : Exportation d'une polaire de Profil Aérodynamique pour un seul nombre de Reynolds à partir de JAVAFOIL.

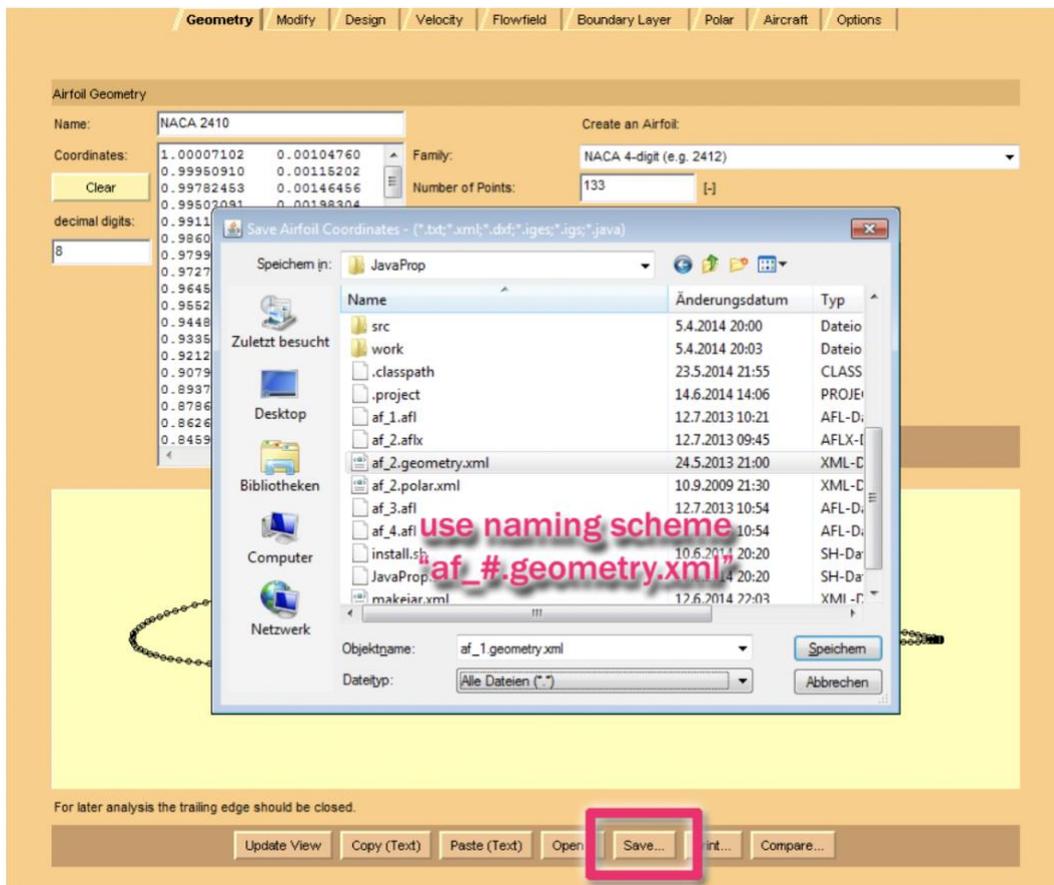


Figure 6 : Exportation de la géométrie du Profil Aérodynamique à partir de JAVAFOIL.

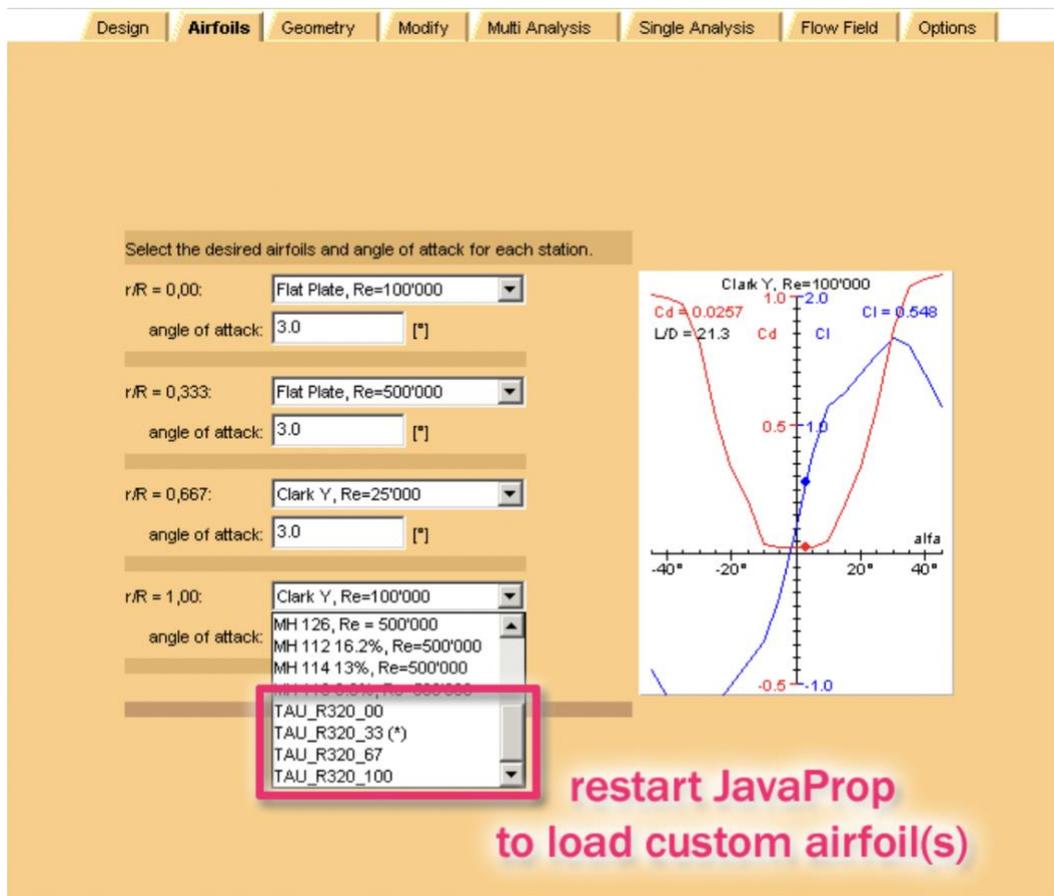


Figure 7 : Utilisation de la polaire du profil en JAVAPROP.

Notez que les polaires doivent également inclure tous les effets de retard de décrochage dus aux effets 3D sur les pales en rotation. En général, l'écoulement tridimensionnel devant le profil aérodynamique des pales de rotor en rotation modifie les caractéristiques du profil aérodynamique, en particulier dans la région de décrochage. Les forces d'inertie agissant sur la couche limite ont tendance à retarder le décrochage de sorte qu'il se produit à des angles d'attaque plus élevés et à des coefficients de portance plus élevés. JAVAPROP ne modifie pas les polaires données pour cet effet car il n'y a pas de méthode générale pour le faire. De nombreux modèles de retard de décrochage existent et chacun ne correspond qu'à une classe limitée de cas.

Dans tous les cas, les coefficients de moment de tangage contenus dans les données de profil aérodynamique ne sont pas utilisés par JAVAPROP.

Paramètres de Conception sur la carte Options

Enfin, la densité du fluide de la carte Options est utilisée pour la conception. Une hélice conçue pour un milieu à faible densité (par exemple à haute altitude) doit avoir des pales d'une longueur de corde plus large que celle d'une conception pour un milieu à haute densité.

Cette différence est également visible lors de la conception d'un hydroprop - la densité de l'eau est environ 1000 supérieure à la densité de l'air. Par conséquent, une hélice pour un fonctionnement sous-marin aurait des pales de seulement 1/1000 de la longueur de corde d'une hélice d'avion - si le diamètre et les coefficients de portance de conception étaient les mêmes. A noter que le phénomène de cavitation limite le coefficient de portance de conception des profils aérodynamiques à des valeurs plutôt inférieures aux valeurs élevées utilisables pour la conception des hélices d'avions (proches du L/D maximum).

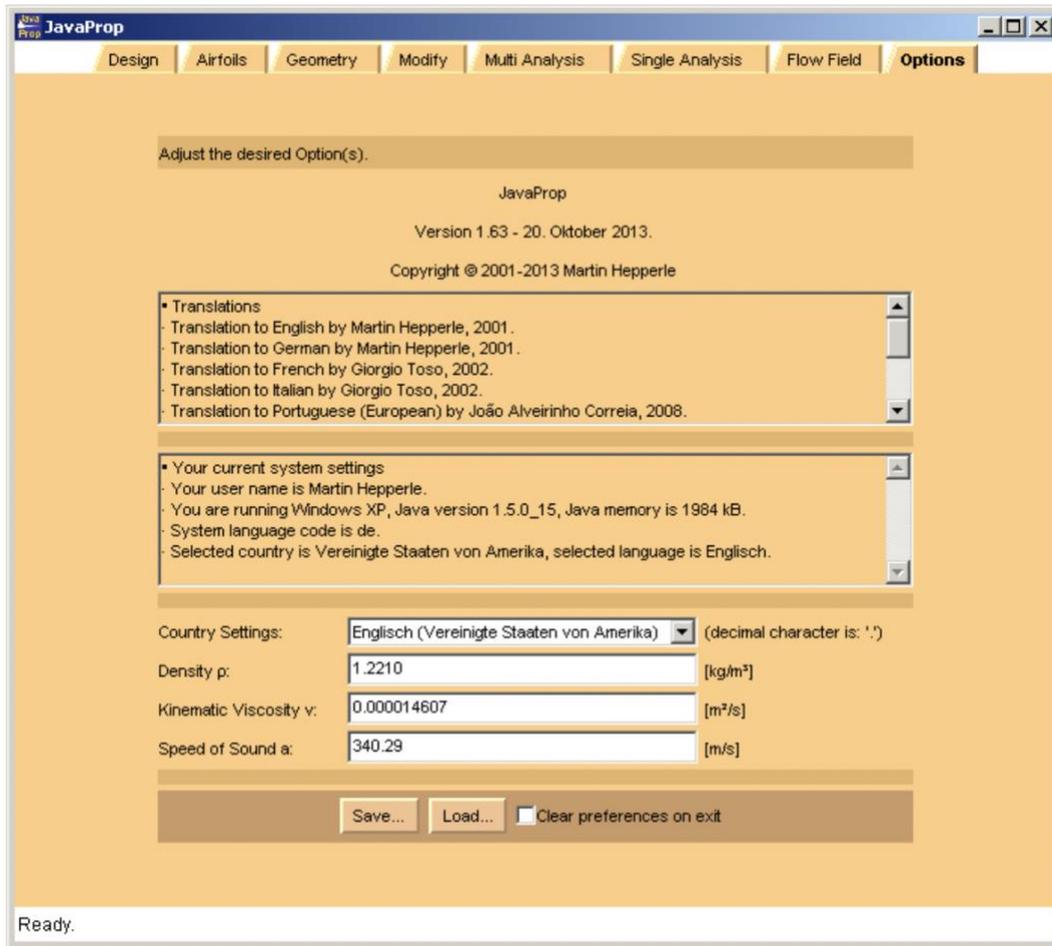


Figure 8 : La carte Options contient la densité du support.

La carte Géométrie

Cette fiche (Figure 9) présente la géométrie de l'hélice actuelle sous forme d'un tableau et d'un croquis à trois vues. Il présente également la distribution du rapport pas/diamètre H / D sur le rayon de l'hélice.

Le tableau de données présente les colonnes suivantes :

- “ r/R ” - la position sur le rayon, normalisée par le rayon de l'hélice,
- “ c/R ” - la longueur de corde correspondante à chaque position, normalisée aussi,
- “ β ” - l'angle des pales à la position en degrés,
- “ H/D ” – le rapport local entre le pas et le diamètre,
- “ r ” – le rayon à la position en millimètres,
- “ c ” – la longueur de la corde locale en millimètres,
- “ H ” – la hauteur du pas local en millimètres,
- “ t ” – l'épaisseur locale de la pale en millimètres,
- “Airfoil” – le profil aérodynamique à chaque position tel que sélectionné sur la carte “Profils Aérodynamiques”.

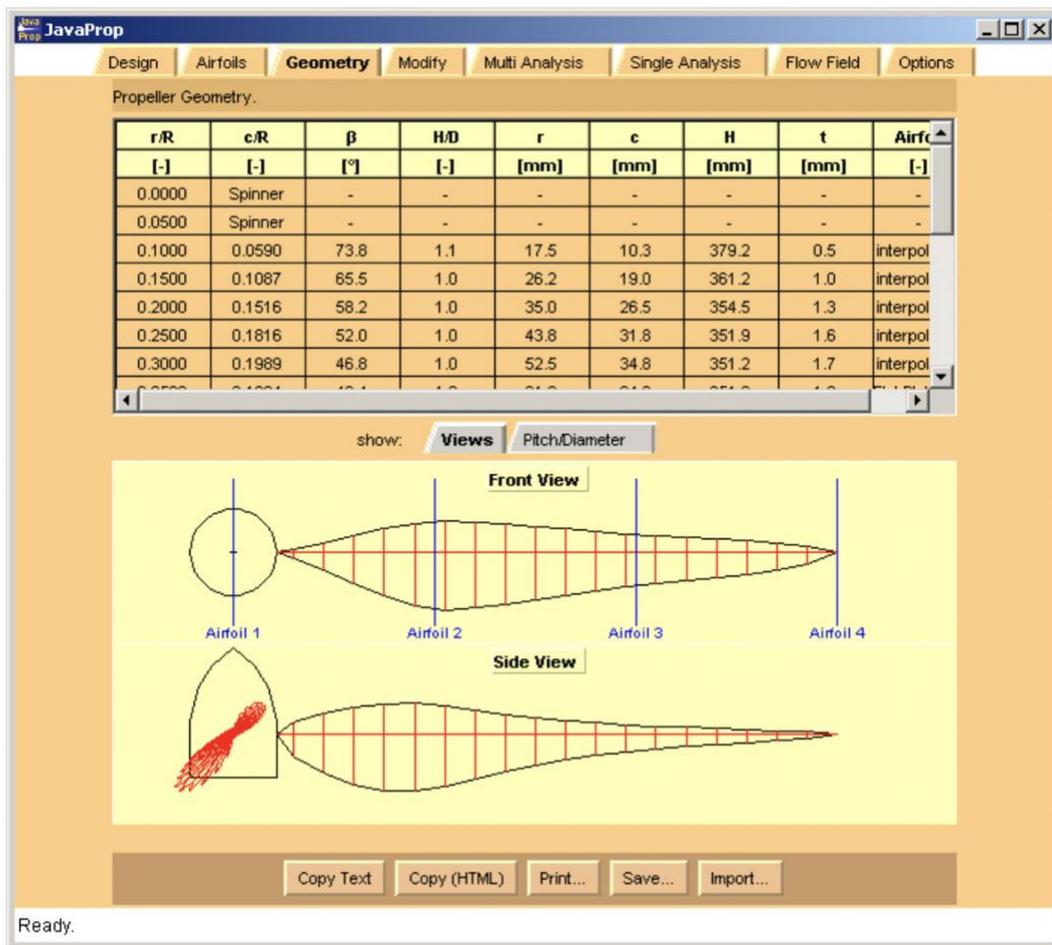


Figure 9 : Fiche de géométrie avec l'hélice en cours.

La carte de géométrie vous permet également de copier ou d'exporter la géométrie sous forme de fichiers texte ou de géométrie 3D, au format AutoCAD DXF ou IGES. Cette option est destinée principalement à des fins d'illustration. Notez également que JAVAPROP sélectionne le format d'exportation par extension de nom de fichier, vous devez donc utiliser l'une des extensions proposées.

Vous pouvez par exemple importer le fichier IGES dans CATIA et créer une surface lisse couvrant les sections comme illustré à la Figure 10. Avant de créer le lissage de la pale, certaines modifications dans la zone du pied et du bout de pale peuvent être appropriées.

La fonction d'exportation IGES crée des courbes de section de profil aérodynamique interpolées précises ainsi qu'une surface. La surface utilise les points de coordonnées du profil aérodynamique comme points de contrôle, la surface ne passe pas par ces points. Par conséquent, la surface n'est pas précise à 100 %, mais peut être plus lisse. C'est à vous de décider si vous souhaitez créer un rendu précis à travers les sections ou obtenir une surface plus lisse.

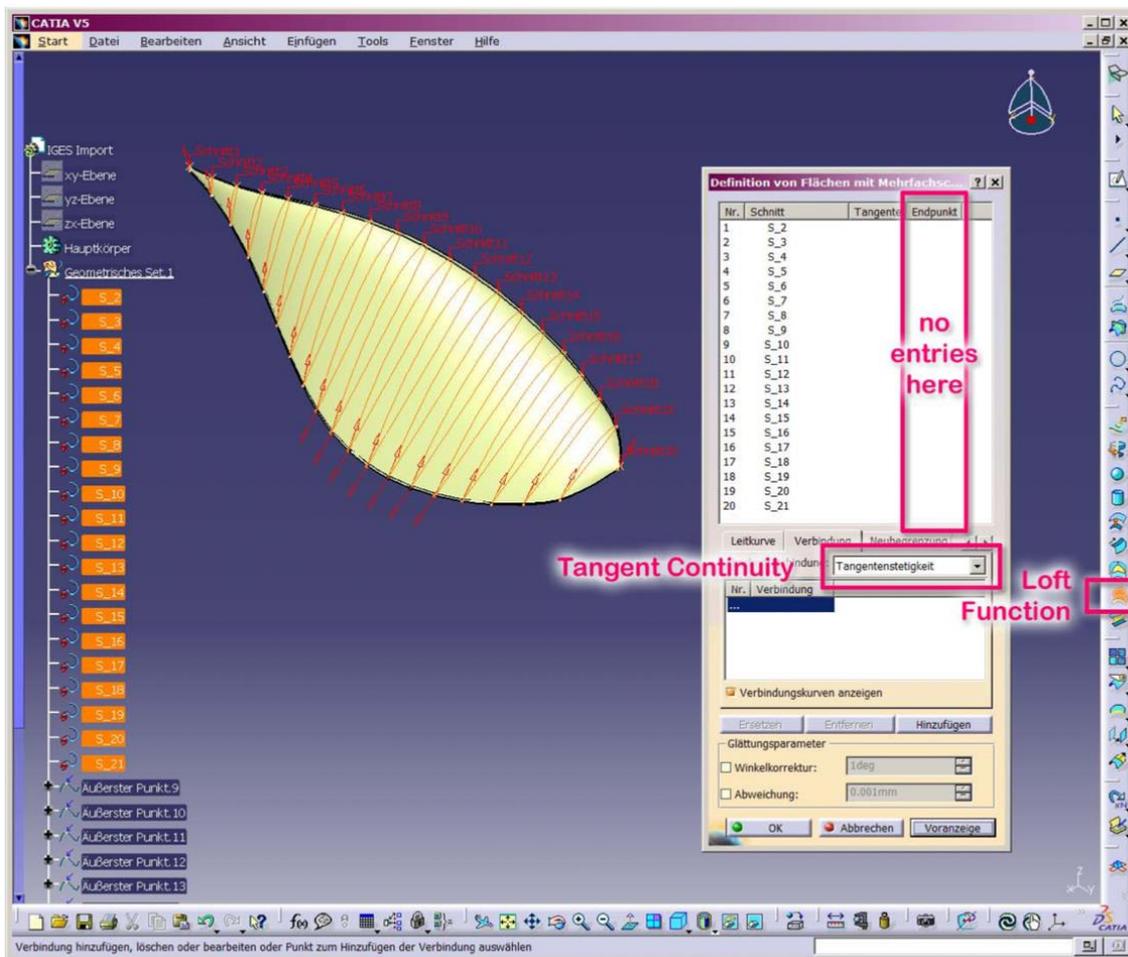


Figure 10 : Création d'une surface de pale dans CATIA V5 en lissant des sections importées d'un fichier JAVAPROP IGES.

De plus, cette carte offre également la possibilité d'importer une géométrie d'hélice donnée à partir d'un tableau de valeurs (Figure 11). Le tableau doit contenir la forme en plan ainsi que l'angle des pales en au moins 3 colonnes dans l'ordre "r/R", "c/R" et " β ". Notez que l'angle de la pale doit être spécifié en degrés. Un exemple d'ensemble de données peut être produit en copiant l'hélice en cours au format texte dans le presse-papiers, puis en ouvrant le formulaire "Importation de géométrie". A l'ouverture, le formulaire d'importation colle automatiquement le contenu du presse-papiers dans son champ de texte. Cela permet également des modifications manuelles de l'hélice en cours. Vous pouvez copier et coller vos données préparées via le presse-papiers de votre système. Au cours du processus d'importation, JAVAPROP essaie d'être intelligent et ignore les données non numériques, mais c'est une bonne idée de s'en tenir au format proposé.

Lorsque les données ont été analysées avec succès, JAVAPROP effectue une analyse de la géométrie en utilisant les paramètres de vitesse de vol, de diamètre et de vitesse de rotation tels qu'ils sont à ce moment définis sur la carte de Conception. Le tableau sur la carte de Conception est ensuite mis à jour avec les données de performance résultantes.

Notez que si vous effectuez une nouvelle Conception sur la carte Conception, l'hélice importée sera écrasée par la nouvelle Conception.

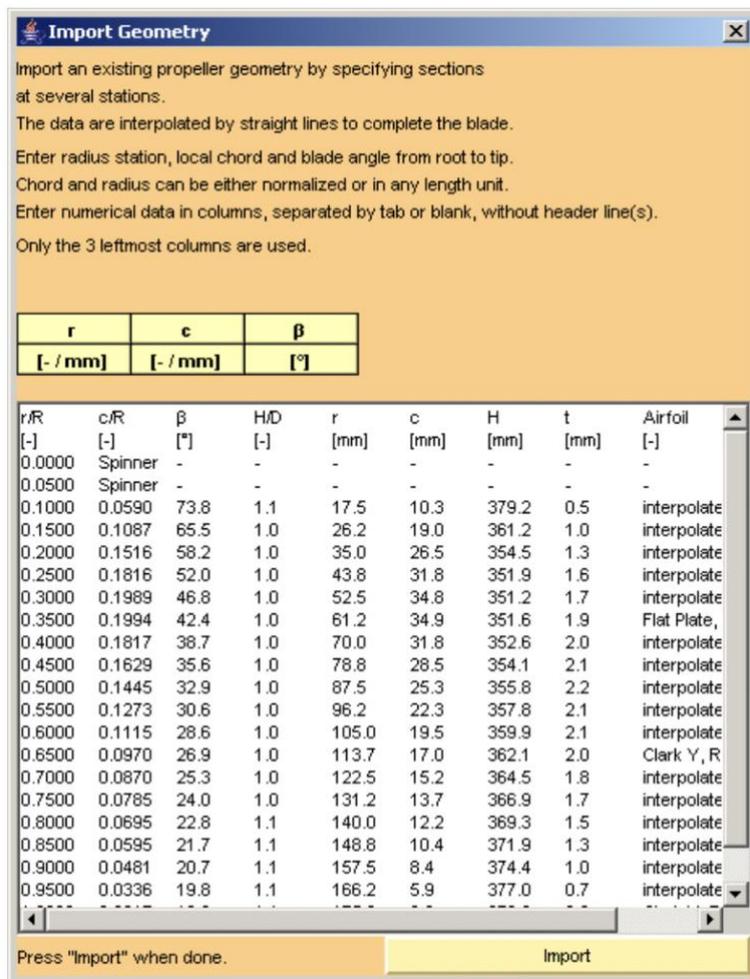


Figure 11 : Formulaire d'import de géométrie avec des exemples de données.

La carte Modifier

Cette carte offre des outils pour modifier la pale d'hélice en cours ou les conditions d'afflux telles qu'elles sont utilisées pour la conception et l'analyse. Toutes les modifications sont effectuées dans l'ordre de haut en bas. Habituellement, vous souhaitez utiliser un seul type de modification et vous devez prendre soin de le réinitialiser lorsque vous appliquez un type de modification différent.

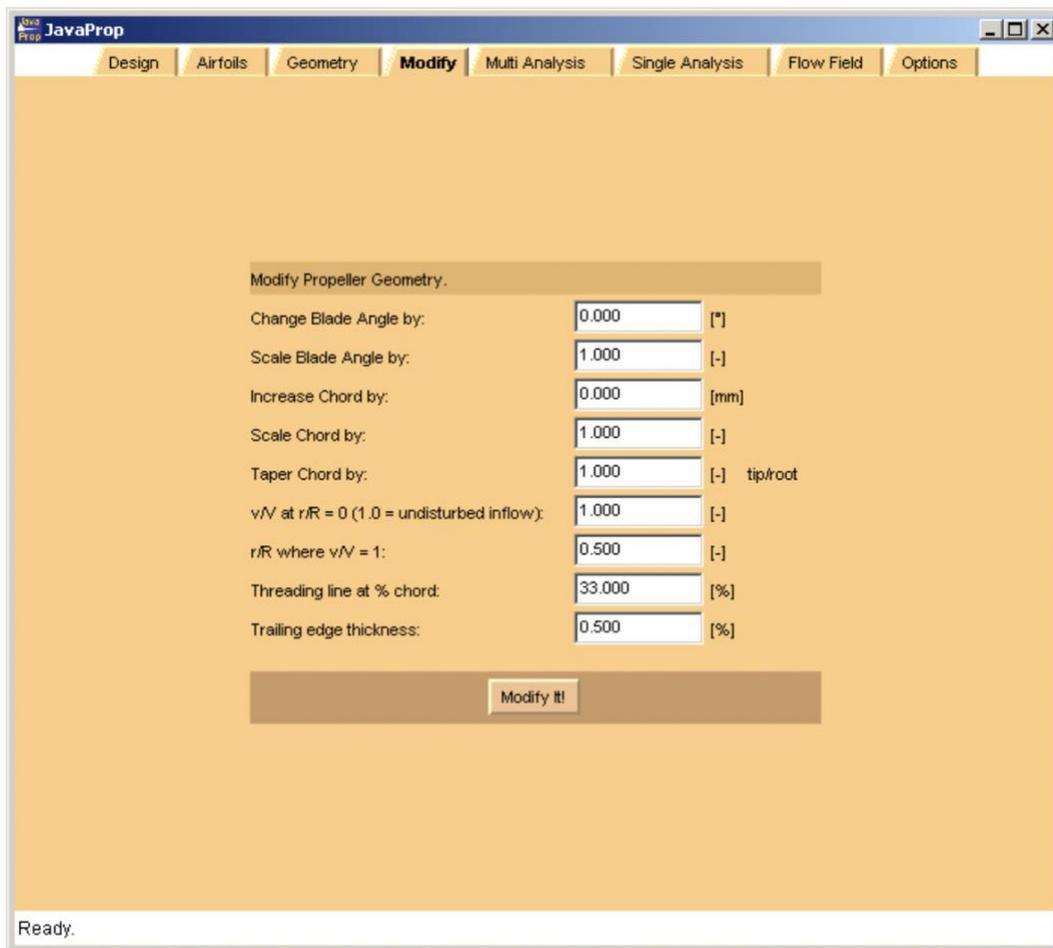


Figure 12 : Des modifications de la géométrie de la lame peuvent être effectuées à l'aide de la carte Modifier.

Les modifications suivantes sont disponibles :

Changer l'angle de la pale par un angle donné – cette option modifie l'angle des pales comme une hélice à pas variable par rotation de la pale complète. Vous pouvez entrer des valeurs positives ou négatives et vérifier le résultat sur la carte Géométrie.

Mettre à l'échelle l'angle de la pale par un facteur – cette modification multiplie l'angle de la pale à chaque position par le facteur donné, modifiant ainsi la torsion interne de la pale.

Augmenter la corde d'une longueur donnée – ajoute ou supprime la longueur donnée de la longueur de corde à chaque position.

Vous pouvez également spécifier des valeurs négatives, mais la longueur de la corde ne doit pas être inférieure à zéro.

Mettre la corde à l'échelle par un facteur – applique le facteur d'échelle donné à la longueur de corde à chaque position.

Donner à la corde un rapport de conicité – similaire à l'option de facteur d'échelle constant, mais applique un facteur d'échelle variable. Pour un rapport "bout/pied" donné de 0,5, le bout de la pale sera rétrécie à 50 % de sa corde actuelle tandis que la racine conservera la longueur de corde en cours.

v / v_{∞} à $r / R = 0$ et r / R où $v / v_{\infty} = 1$ - peut être utilisé pour définir une variation linéaire de profil de vitesse d'entrée de flux $v / v_{\infty} = f(r / R)$. Un tel profil de flux peut être utilisé pour représenter l'influence d'un corps axisymétrique devant ou derrière l'hélice. Le profil de vitesse d'entrée donné est utilisé pour la conception et l'analyse. Les deux valeurs définissent une variation linéaire de la vitesse d'entrée axiale v . Le cas sans flux d'entrée a une valeur constante de v_{∞} et est obtenu si " v / v_{∞} à $r / R = 0$ " est réglé sur 1.0 et " r / R où $v / v_{\infty} = 1$ " peut être arbitraire.

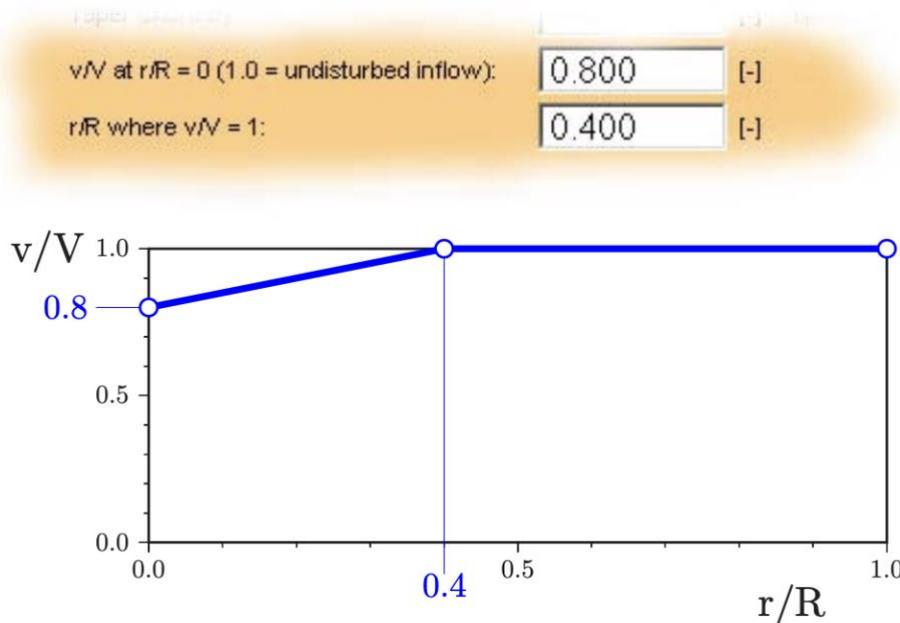


Figure 13 : Profil d'entrée modifié avec une vitesse d'écoulement axiale réduite vers l'axe de rotation.

Ligne de filetage à % corde—les sections de profil aérodynamique sont enfilées sur une ligne droite, qui est normalement située près du centre de gravité de chaque section pour minimiser les charges structurelles. Cette valeur se situe généralement entre 30 et 40 % de la corde et peut être spécifiée ici. Remarque : si le nombre de Mach hélicoïdal local est supérieur à 0,85, un balayage local est automatiquement ajouté à la pale afin que le nombre de Mach dans la section normale au bord d'attaque ne dépasse pas 0,85. Ceci est actuellement câblé dans le code.

Épaisseur du bord de fuite – le bord de fuite des profils aérodynamiques peut être épaissi pour tenir compte des contraintes de fabrication. Les valeurs typiques sont de l'ordre de 0,5 à 1 %. Les formes de profil aérodynamique résultantes sont utilisées sur la carte Géométrie pour les fonctions d'affichage et d'exportation.

Comment analyser une hélice

JAVAPROP peut analyser les hélices à des points de fonctionnement arbitraires. Les hélices peuvent être créées par le module de conception de JAVAPROP ou en important une géométrie donnée. Deux cartes sont disponibles pour l'analyse :

- Multi-Analyse,
- Analyse unique.

Les deux cartes diffèrent dans leur plage d'analyse et dans le niveau de détail de leur résultat mais appliquent la même méthode d'analyse.

La carte Multi-Analyse

La carte Multi-Analyse permet d'analyser l'hélice sur toute sa plage de fonctionnement utilisable depuis le fonctionnement statique jusqu'au début du régime d'éolienne à grande vitesse. Les résultats se compose des données globales de l'hélice telles que la traction, la puissance ou l'efficacité par rapport à la vitesse d'avance.

Les coefficients indiqués sur cette carte sont des paramètres de performance généralement applicables. D'autre part, les valeurs absolues comme la traction ou la puissance sont calculées à l'aide de ces coefficients et des données supplémentaires tirées de la

- carte de Conception (diamètre, et un des paramètres parmi n , P , T ou Q),
- carte Options (densité).

Vous pouvez modifier n'importe laquelle de ces valeurs et effectuer une analyse supplémentaire pour étudier leur effet. Tant que vous ne modifiez pas la géométrie, les coefficients seront toujours les mêmes, mais les valeurs absolues changeront.

Les quatre cas différents pour le calcul des valeurs absolues représentent :

- n = donné – hélice à vitesse constante, P , T , Q varient avec la vitesse de l'air,
- P = donné – n est ajusté pour que l'hélice consomme la puissance donnée,
- T = donné – n est ajusté pour que l'hélice produise la traction donnée,
- Q = donné – n est ajusté pour que l'hélice consomme le couple donné.

Pour analyser par exemple une hélice à vitesse constante à différentes vitesses de rotation, vous changeriez simplement la valeur de n sur la carte de Conception, puis effectueriez une analyse multiple supplémentaire. Attention : n'effectuez pas de nouveau design sur la carte Design – cela créerait une nouvelle forme de pale.

A noter qu'aucun de ces cas ne représente exactement une hélice fonctionnant sur un moteur donné car pour simplifier aucun modèle de courbe de performance moteur n'est utilisé dans JAVAPROP. Alors que la “vitesse constante” (n =donnée) est un mode opératoire réaliste, les méthodes constantes P , T ou Q sont quelque peu artificielles, mais peuvent être utilisées pour avoir une vue d'ensemble des caractéristiques de base. Notez que tous ces résultats dimensionnels sont obtenus à partir du seul ensemble de coefficients de traction et de puissance en fonction du rapport d'avance.

Le point correspondant aux données de la carte de Conception est marqué dans le résultat graphique par un cercle noir.

L'échelle des graphiques est déterminée par le premier ensemble de données d'analyse. Si vous souhaitez combiner les résultats de plusieurs analyses dans les graphiques, vous devez donc commencer par le cas avec les données les plus étendues.

La sortie de la carte Multi-Analysis contient un tableau avec les colonnes suivantes :

Symbole	Description
$V_{\infty}/(n \cdot D)$	taux d'avance
$V_{\infty}/(\Omega \cdot R)$	taux d'avance
C_T	coefficient de traction
C_P	coefficient de puissance
C_S	coefficient vitesse-puissance
P_c	coefficient de puissance
η	Efficacité
η^*	efficacité maximale possible
décroché	surface relative du disque balayée par les profils aérodynamiques décrochés
v	vitesse de vol resp. vitesse du vent
n	vitesse de rotation
P	Puissance
T	traction
Q	couple

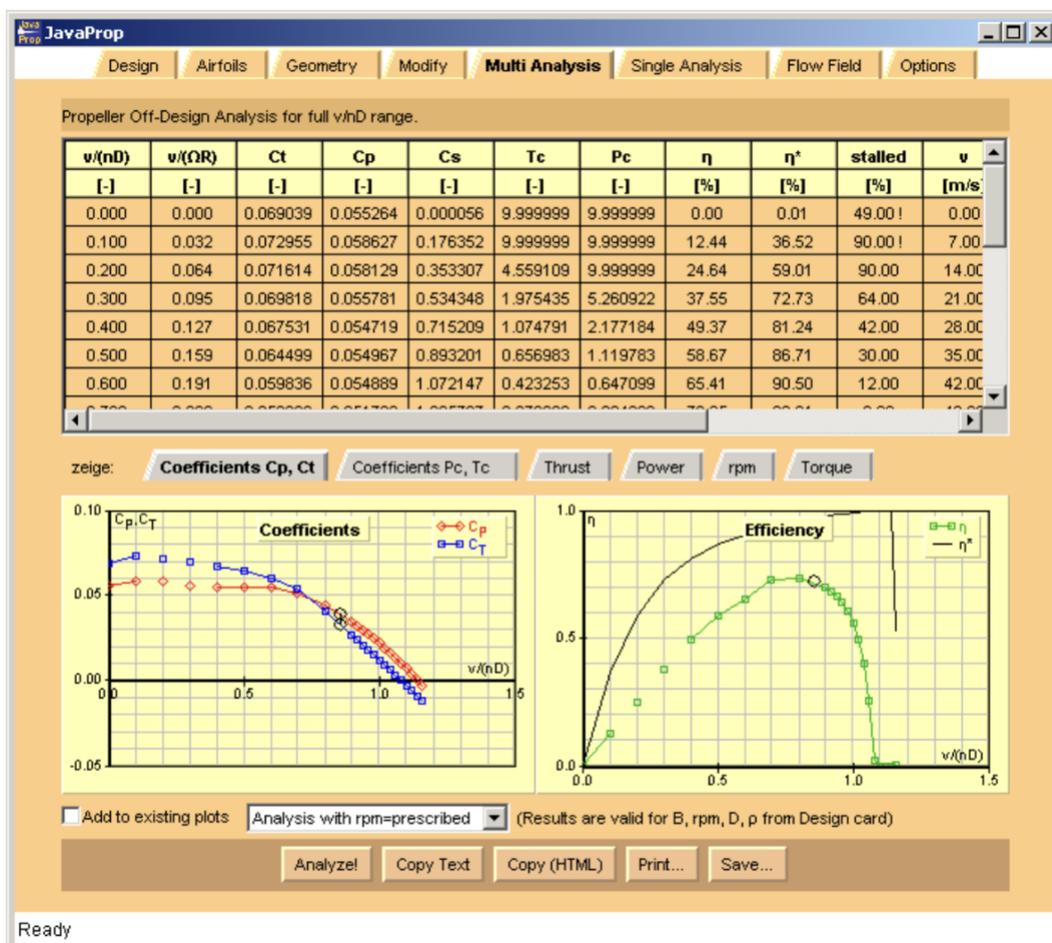


Figure 14 : La carte Multi-Analysis produit des coefficients globaux d'hélice sur une plage de conditions de fonctionnement.

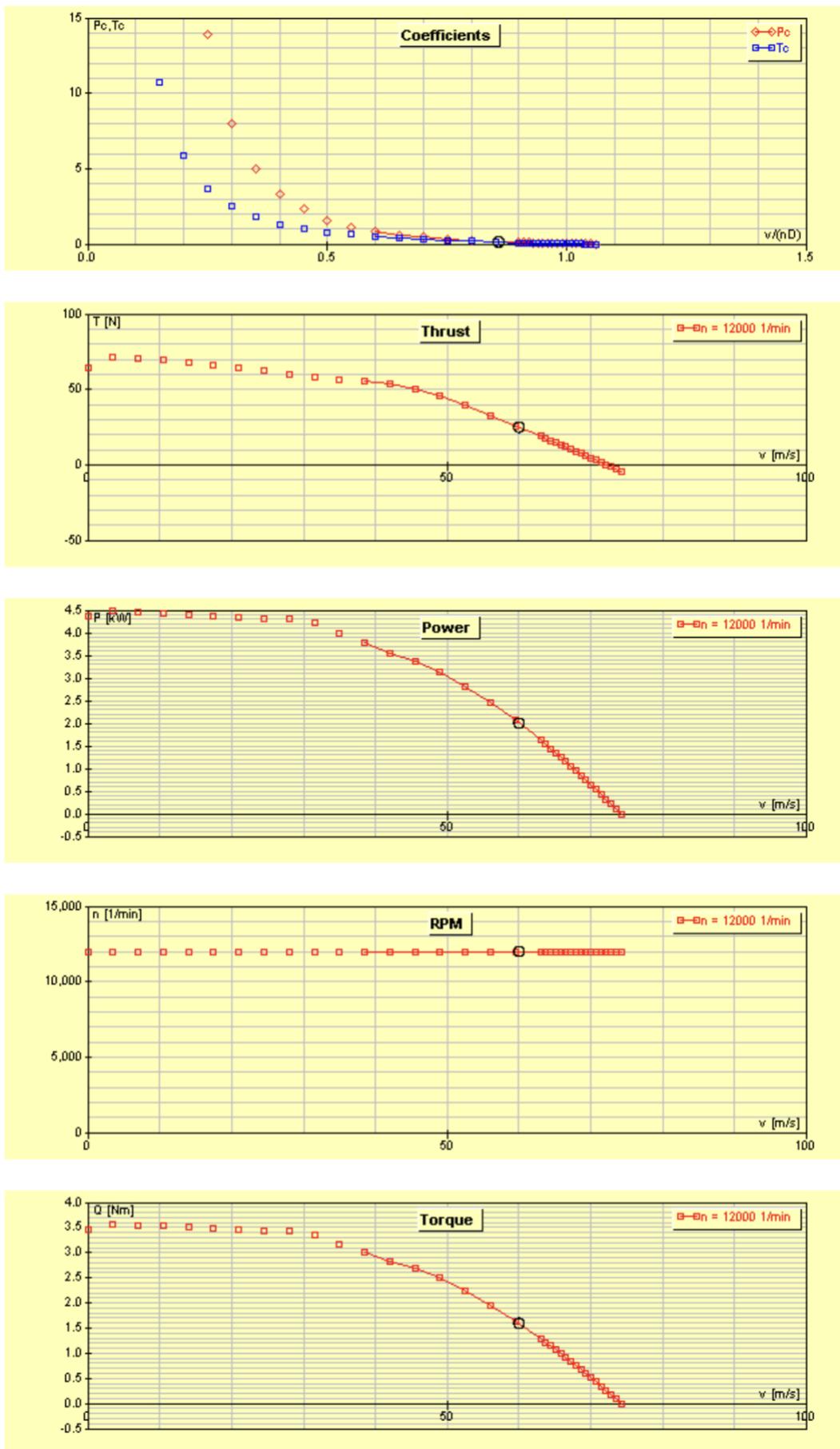


Figure 15 : Les graphiques individuels sur la carte Multi-Analyse présentent la traction, la puissance, le RPM et le couple en fonction de la vitesse de vol pour le mode de fonctionnement sélectionné (dans ce cas RPM=constant).

La carte d'Analyse Unique

La carte d'Analyse Unique est utilisée pour analyser l'hélice à un seul point de fonctionnement arbitraire. Ce point est spécifié par la vitesse de vol v_∞ , vitesse de rotation n et diamètre D sur la Carte de Conception, qui définit un rapport d'avance.

Le résultat fournit par la carte d'Analyse Unique est plus détaillé que celui de la carte d'Analyse Multiple. Il consiste en la distribution de données aérodynamiques locales le long du rayon de la pale et inclut également des coefficients liés aux charges structurales (effort tranchant et moment de flexion). Tous les résultats sont disponibles dans un tableau et certaines données spécifiques sont présentées sous forme de graphiques individuels.

La première page de graphiques montre les paramètres pertinents pour l'aérodynamique du profil, la deuxième page affiche les distributions de traction et de puissance ainsi que l'efficacité locale, la troisième page de graphiques présente les charges structurales, tandis que la quatrième page montre les propriétés du sillage. Notez que le coefficient de traînée peut être nul si vous avez sélectionné l'option correspondante sur la carte des profils aérodynamiques. Dans ce cas, le rapport portance sur traînée L/D sera infini.

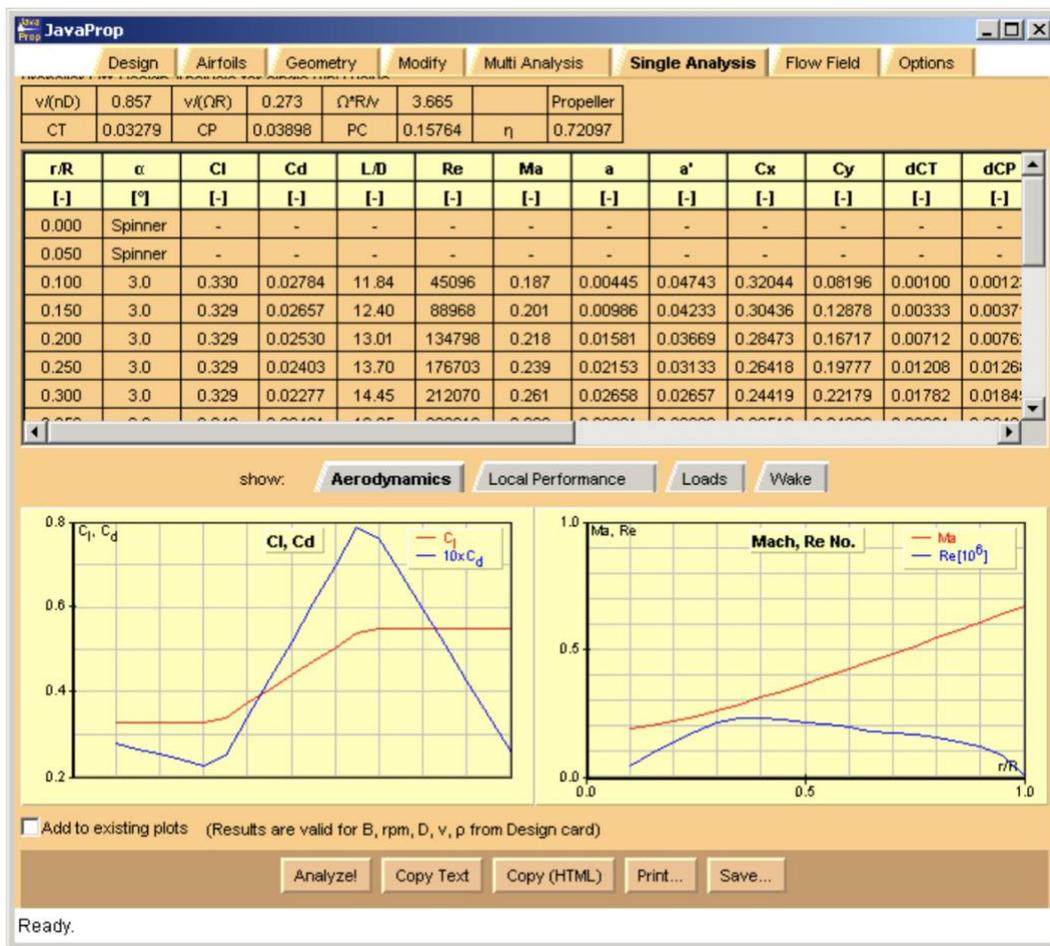


Figure 16 : La carte d'Analyse Unique affiche des résultats détaillés pour une seule condition de fonctionnement. Le premier ensemble de graphiques contient des paramètres liés à l'aérodynamique de la section de profil aérodynamique.

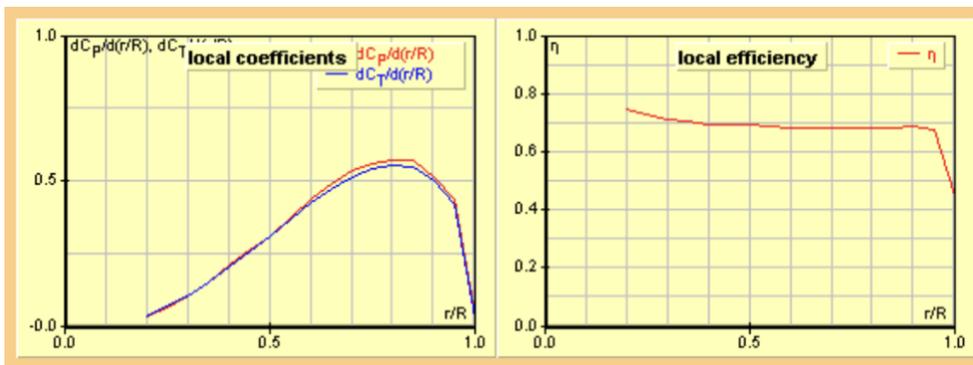


Figure 17 : Le deuxième ensemble de graphiques contient les coefficients de puissance et de traction locaux ainsi que le rendement local.

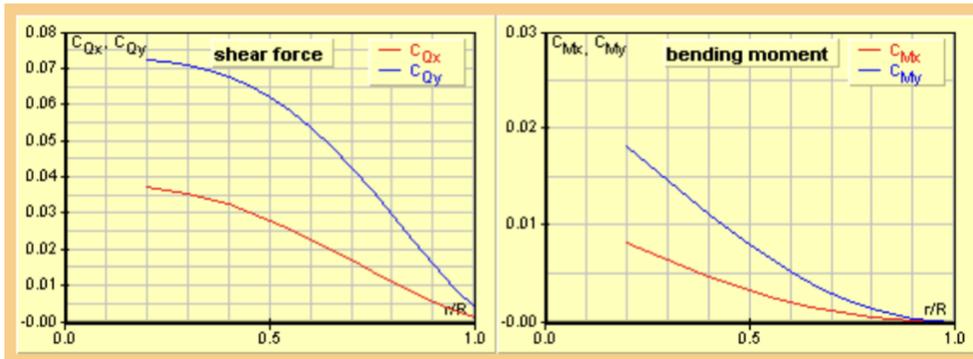


Figure 18 : Le troisième ensemble de graphiques montre la force de cisaillement et le moment de flexion.

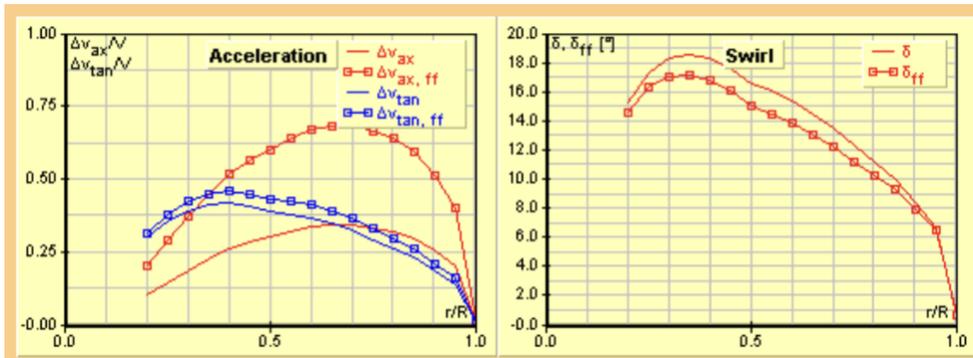


Figure 19 : Le quatrième ensemble de graphiques montre les vitesses dans le plan de l'hélice dues au sillage de l'hélice et l'angle de tourbillon local dans le plan de l'hélice ainsi que loin derrière. Les courbes avec des symboles carrés représentent des données dans le sillage lointain idéal, y compris la contraction.

Symbole	Description
r / R	rayon relatif
α	angle d'attaque en degrés
C_ℓ	coefficient de portance
C_d	coefficient de traînée
L / D	rapport portance/traînée
Re	nombre de Reynold
Ma	nombre de Mach
a	facteur d'induction axiale dans le plan de l'hélice (la vitesse axiale au travers de l'hélice est $v_\infty \cdot (1 + a \cdot F)$)
a'	facteur d'induction tangentiel dans le plan de l'hélice (la vitesse tangentiel dans le plan de l'hélice est $\Omega \cdot r \cdot (1 - a' \cdot F)$)
$\Delta v_{ax} / v_\infty$	incrément de vitesse d'écoulement axial immédiatement après l'hélice $\Delta v_{ax} = v_\infty \cdot a \cdot F$ (loin derrière l'hélice, la vitesse incrémentale a deux fois cette valeur)
$\Delta v_{tan} / v_\infty$	incrément de vitesse d'écoulement tangentiel immédiatement après l'hélice $\Delta v_{tan} = \Omega \cdot r \cdot 2 \cdot a' \cdot F$ (loin derrière l'hélice la vitesse tangentielle a une valeur légèrement augmentée)
C_x	coefficient de force tangentielle locale (dans le plan) à une position de pale $C_x = \frac{F_x}{\frac{\rho_\infty}{2} \cdot v_{eff}^2 \cdot c \cdot dr}$
C_y	coefficient de force de traction local à une position de pale $C_y = \frac{F_y}{\frac{\rho_\infty}{2} \cdot v_{eff}^2 \cdot c \cdot dr}$
dC_T	coefficient de traction locale de toutes les pales pour un élément annulaire, $C_T = d(r/R) \cdot \sum dC_T$
dC_P	coefficient de puissance local de toutes les pales pour un élément annulaire, $C_P = d(r/R) \cdot \sum dC_P$
η	efficacité locale à une position de pale $\frac{v_\infty}{n \cdot D} \cdot \frac{dC_T}{dC_P}$
δ	angle de tourbillon immédiatement derrière l'hélice en degrés
δ_{ff}	angle de tourbillon loin derrière l'hélice en degrés
C_{Q_x}	coefficient de force de cisaillement tangentiel (dans le plan) (intégré du bout de pale au moyeu)
C_{M_x}	coefficient de moment de flexion tangentiel (dans le plan) (intégré du bout de pale au moyeu)
C_{Q_y}	coefficient de force de cisaillement normal (hors du plan) (intégré du bout de pale au moyeu)
C_{M_y}	coefficient de moment fléchissant normal (hors du plan) (intégré du bout de pale au moyeu)
Δp_t	incrément de pression totale immédiatement après l'hélice

Tableau 1 : Description des résultats tabulaires sur la carte d'analyse unique.

Définition des coefficients d'effort tranchant et de moment fléchissant

Afin de déterminer les charges sur les pales de l'hélice, les forces aérodynamiques locales représentées par les coefficients C_x et C_y sont intégrés le long de la pale du bout de pale au moyeu.

Ces coefficients sont définis de manière similaire aux coefficients de traction et de couple de l'hélice.

Force de cisaillement due à la force axiale hors du plan (traction)

$$Q_y = C_{Q,y} \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^4$$

Force de cisaillement due à la force tangentielle dans le plan (couple/r)

$$Q_x = C_{Q,x} \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^4$$

Moment de flexion dû à une force axiale hors du plan (traction)

$$M_y = C_{M,y} \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^5$$

Moment de flexion dû à la force tangentielle dans le plan (couple/r)

$$M_x = C_{M,x} \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^5$$

Notez qu'en plus de ces forces et moments aérodynamiques, les hélices sont également largement affectées par les charges d'inertie. Les charges de torsion dues au moment de tangage du profil aérodynamique ou au balayage local ne sont pas calculées par *JavaProp*.

Quelques contrôles de validation simples

Un contrôle de validité rapide est le fait que le coefficient d'effort tranchant axial au pied doit être égal au coefficient de traction divisé par le nombre de pales ;

$$Q_y = \frac{C_T}{n_{\text{blades}}}$$

Un autre contrôle de plausibilité est le centre de traction de chaque pale, qui est la position radiale d'une seule force représentant la traction de la pale. Cette force de remplacement agit à

$$\left(\frac{r}{R} \right)_{\text{center of thrust}} = 2 \cdot \frac{C_{M_y}(0)}{C_{Q_y}(0)}$$

La plupart des hélices ont leur force de traction située entre 60 et 70% du rayon.

Que se passe-t-il derrière l'hélice ?

L'hélice traîne un sillage tourbillonnaire qui induit une accélération axiale supplémentaire à l'intérieur du sillage. Ce système de sillage se compose de feuilles de sillage hélicoïdales qui s'enroulent dans des tourbillons de moyeu et de bout de pale et se dissipent finalement en chaleur.

En raison de ce système de sillage, l'incrément de vitesse axiale causé par l'hélice est doublé loin derrière l'hélice. Cela conduit également à une contraction du tube de flux car la pression statique ne change pas et le débit massique enfermé est le même. Cette contraction conduit à une augmentation du tourbillon dans le sillage à cause de la vitesse tangentielle car l'impulsion de tourbillon doit être maintenue. Le même effet peut être observé sur une danseuse sur la glace déplaçant ses bras étendus vers le corps. Sans contraction, la vitesse tangentielle resterait la même. Dans le cas d'une éolienne, les effets inverses peuvent être observés : le tube de flux se dilate et le flux est encore ralenti.

Le champ d'écoulement autour de l'hélice

JAVAPROP n'a pas la capacité de prédire avec précision le débit autour de l'hélice. A cette fin, des méthodes plus élaborées et plus longues seraient nécessaires. Cependant, un simple modèle de théorie de la quantité de mouvement fournit quelques résultats de base pour montrer les principales caractéristiques de l'écoulement à travers l'hélice. Ce modèle inclut la contraction du tube de flux ainsi que les pertes par tourbillon. Les résultats sont présentés sur la carte Flow Field sous la forme d'un tracé de contour du rapport de vitesse axiale (moitié supérieure du graphique) et de la limite du tube de flux (moitié inférieure). On peut voir que la moitié de l'accélération de l'écoulement se produit au niveau de l'hélice tandis que l'autre moitié se produit en raison des tourbillons dans le sillage.

Si vous analysez une éolienne, vous remarquerez que le tube de courant se dilate, c'est-à-dire que le débit est ralenti par la turbine. Vous remarquerez également que la contraction ou l'expansion est généralement relativement faible. Elle devient plus importante lorsqu'une hélice est fortement chargée comme lors du décollage.

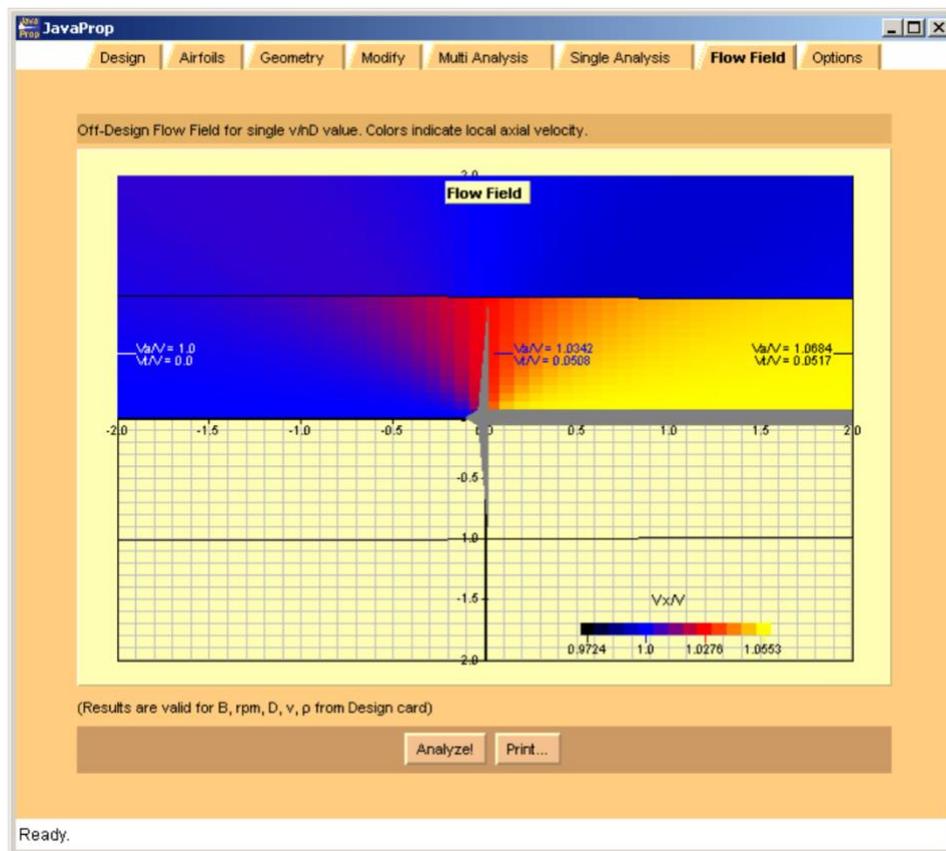


Figure 20 : La carte Flow Field produit une image du flux à travers l'hélice

4. Éoliennes

Conçu à l'origine comme un outil de conception et d'analyse d'hélices, JavaProp peut également être utilisé pour les éoliennes. Certaines différences doivent cependant être prises en compte. La figure 21 montre les courbes générales de puissance et de traction d'un rotor, couvrant une large plage de vitesse. Dans le cas des hélices, seul le côté gauche du graphique est intéressant, pour les éoliennes c'est le côté droit. La transition entre l'état de l'hélice et celui de l'éolienne est fluide. Toute hélice à pas fixe fonctionnant à vitesse de rotation constante finira par atteindre l'état de moulinet. Lorsque la vitesse de l'air augmente encore, il agira comme une éolienne, bien que relativement médiocre. En effet, les profils aérodynamiques d'une éolienne opèrent une portance négative et doivent donc être appliqués «à l'envers». A noter également, qu'entre les régimes de l'hélice et de l'éolienne, il existe une petite plage de rapports d'avance où l'hélice produit déjà de la traînée mais consomme encore de l'énergie. C'est une condition peu utile car l'hélice ne fait que créer de l'entropie (chaleur). Cet effet est causé par le frottement et les pertes induites dues à la distribution radiale de la portance et ne peut être évité. Heureusement, ce n'est qu'une bande très étroite.

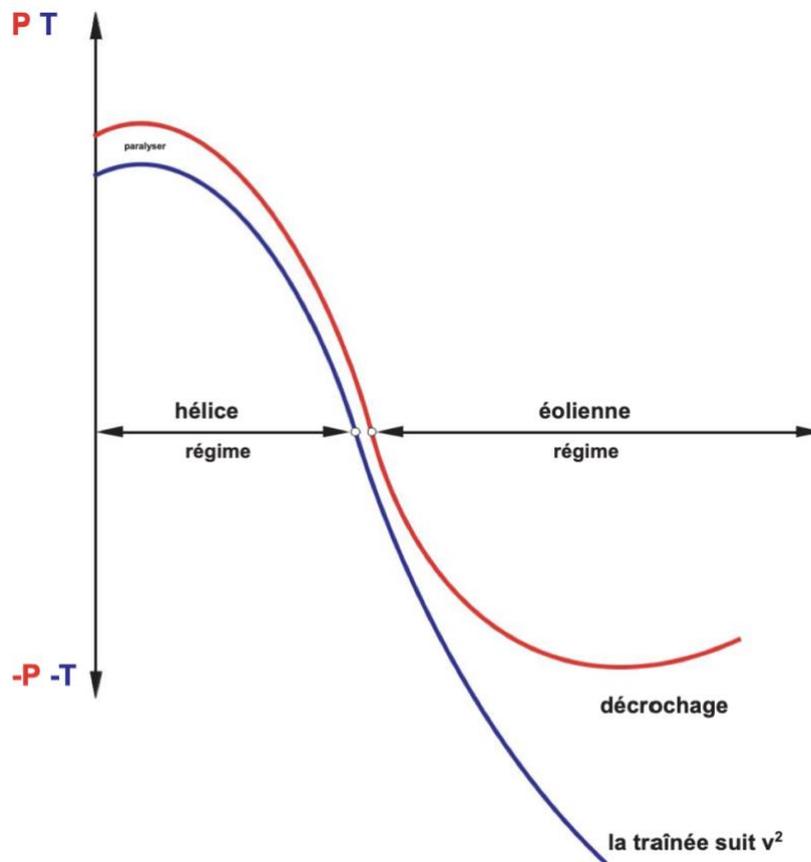


Figure 21 : Caractéristiques générales de fonctionnement des hélices et des éoliennes, tracées en fonction du rapport d'avance.

Pour la conception aérodynamique et l'analyse des éoliennes, les méthodes utilisées pour les hélices peuvent être appliquées. Les routines d'analyse sont les mêmes, tandis que la méthode de conception optimale est différente, car le facteur de mérite d'une éolienne est différent du rendement d'une hélice.

Pour une hélice, le facteur de mérite est la quantité de traction qui peut être générée pour une puissance d'entrée donnée. L'efficacité d'une éolienne peut s'exprimer par la quantité d'énergie extraite de la masse d'air traversant le disque rotor par rapport à la quantité d'énergie contenue dans ce flux d'air. La traînée (traction négative) agissant sur la tour n'a pas d'intérêt primordial, mais bien la quantité de puissance extraite.

Étant donné que les caractéristiques de performance d'une éolienne commencent là où se termine la plage de fonctionnement de l'hélice, ce régime d'éolienne ne démarre pas à une vitesse de vent nulle. Il existe une vitesse de vent minimale requise à laquelle l'éolienne peut commencer à tourner. Cela a des implications sur les paramètres de conception, puisqu'une conception pour un rapport d'avance trop faible $v/(n \cdot D)$ ne fonctionnerait pas.

La méthode de conception implémentée dans JAVAPROP est basée sur les travaux de Prandtl, Betz et Glauert dans les années 1930. Cependant, elle prend en compte les forces de frottement, comme décrit dans [1], ce qui produit des conceptions plus réalistes. Néanmoins, la conception de l'éolienne est plutôt sensible aux paramètres de conception et une analyse multiple ultérieure peut produire des résultats médiocres. Dans ce cas, vous devez déplacer le rapport d'avance de conception à une valeur plus raisonnable, par exemple en modifiant la vitesse de rotation de conception n . La figure 22 donne un aperçu des paramètres de fonctionnement typiques en fonction de la taille de l'éolienne.

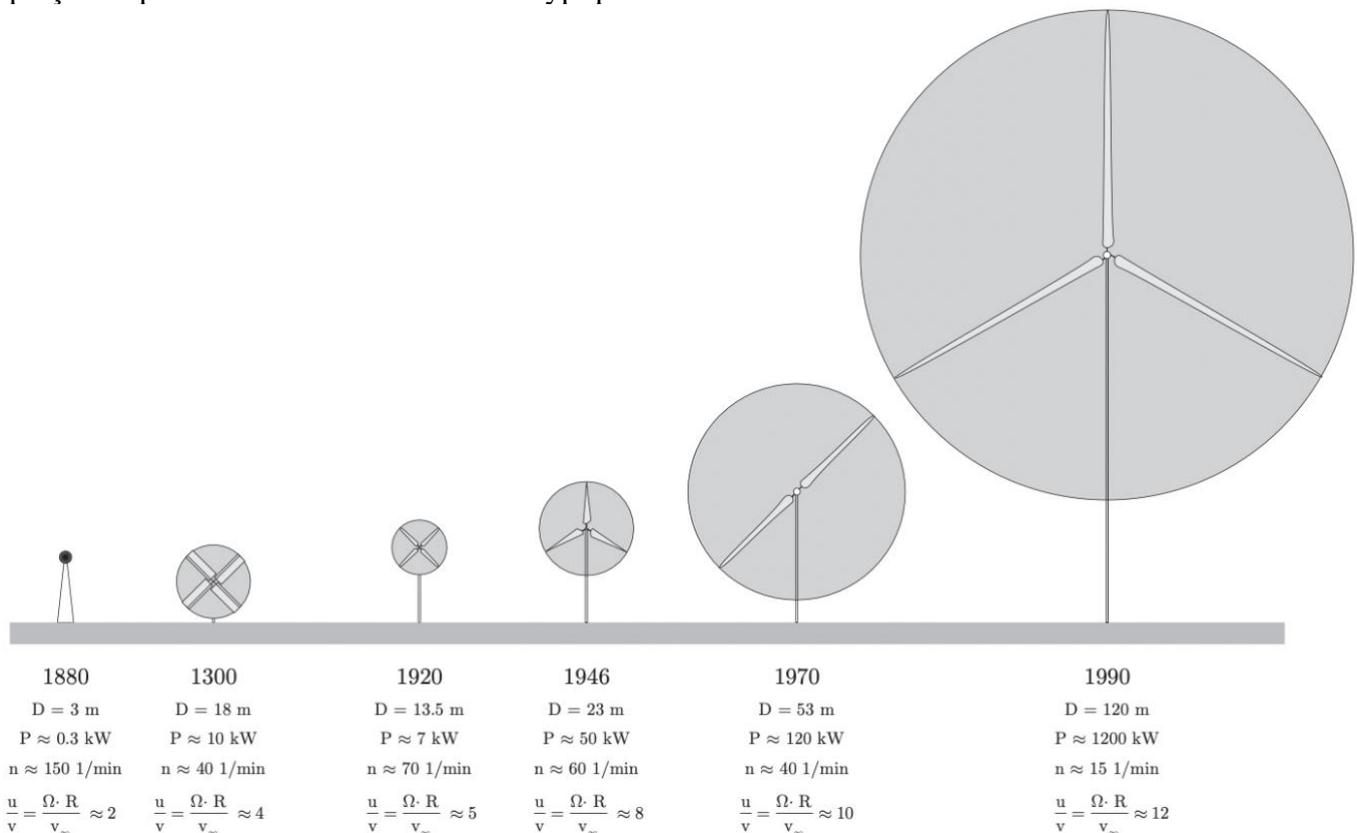


Figure 22 : Paramètres de fonctionnement typiques de différents types et tailles d'éoliennes.

Paramètres et coefficients

Notez que JAVAPROP s'en tient à ses racines d'hélice en maintenant les coefficients et les tracés d'hélice habituels. Cela conduit à des éoliennes ayant des valeurs négatives pour le couple et la puissance ainsi que pour la traction. Ce changement de signe indique que la puissance et le couple sont delivrés, non consommés, et que la traction est en fait une force de traînée, agissant sur la tour. De plus, les graphiques des coefficients par rapport au rapport d'avance sont différents du graphique commun des coefficients par rapport au rapport de vitesse de pointe C , qui est l'inverse du rapport d'avance λ , soit $X = 1/\lambda = \Omega \cdot R / \bar{v}_\infty$.

Garder les conventions d'hélice n'est pas trop gênant, car les graphiques par rapport à $v_\infty / (n \cdot D)$ affichent toujours le comportement en fonction de la vitesse du vent pour une vitesse de

rotation constante. Noter en particulier, thêta le coefficient de puissance C_P tel qu'il est couramment utilisé pour les éoliennes n'est pas identique au coefficient de puissance C_P d'hélices, mais au coefficient nommé P_C selon la terminologie d'hélice. De plus, de nombreux paramètres, tels que les facteurs d'induction axiale et circonférentielle d'une éolienne, sont sous forme de valeur négative car elle délivre de la puissance contrairement à l'hélice qui absorbe de la puissance.

Pour comparaison avec les codes des éoliennes, vous devez comparer le coefficient P_C à l'inverse du rapport d'avance λ , qui est égal au rapport de vitesse de pointe X comme utilisé pour les éoliennes.

La figure 23 montre comment le rapport d'avance au démarrage d'une éolienne dépend des performances de la voilure. Une éolienne idéale démarrerait à une vitesse de vent presque nulle, mais en raison des rapports de portance sur traînée finis, une éolienne réaliste nécessite un rapport d'avance minimum pour démarrer. La vitesse de vent minimale requise V_∞ pour une vitesse de générateur donnée Ω et des performances profil moyennes peuvent être lues sur la figure.

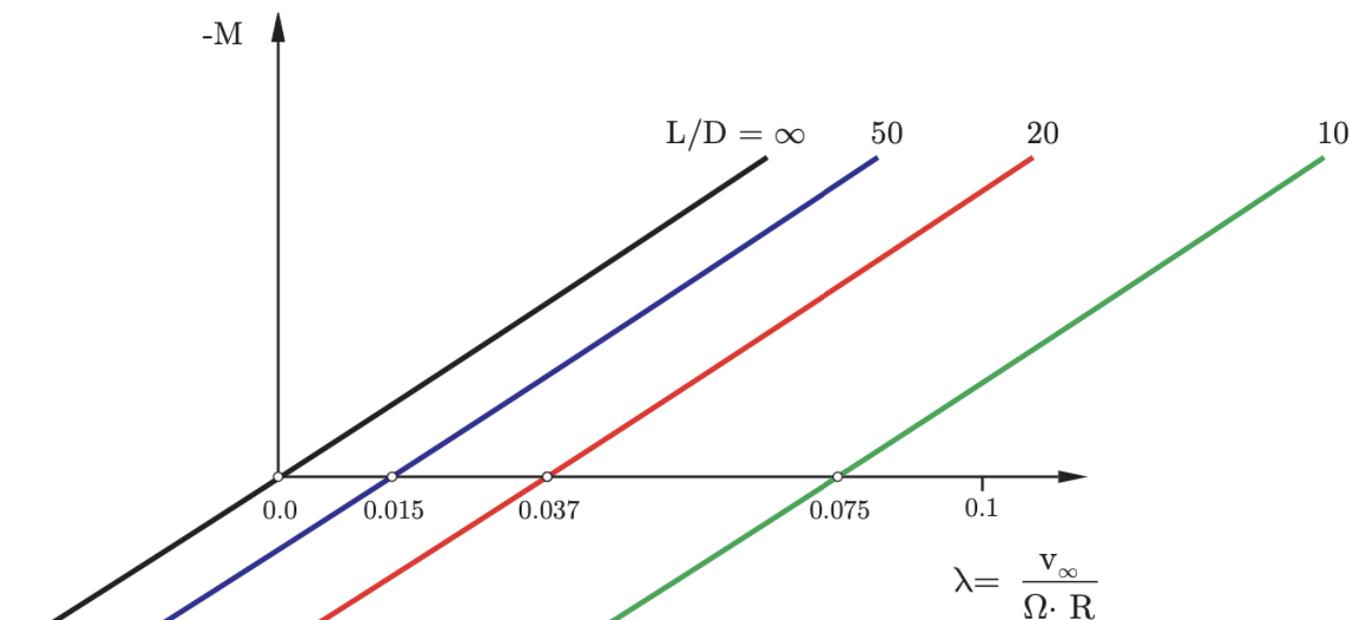


Figure 23 : Effet du rapport L/D du profil aérodynamique sur la vitesse de démarrage d'une éolienne.

Orientation du profil aérodynamique

Une différence principale entre la géométrie d'une éolienne et d'une hélice est l'orientation des sections de profil aérodynamique. JAVAPROP renverse automatiquement les profils aérodynamiques si vous spécifiez une valeur négative pour la puissance, la traction ou le couple dans la zone de liste déroulante de la carte de conception. Cela indique qu'une éolienne est conçue ou analysée. JAVAPROP maintient ces profils inversés pour l'analyse tant que la valeur négative est maintenue sur la carte de conception. En termes de géométrie, vous remarquerez que, par exemple, dans la sortie de la carte Géométrie, tous les profils aérodynamiques sont disposés avec une orientation "à l'envers".

L'inversion des profils aérodynamiques est indiquée dans le graphique polaire sur la carte Profils aérodynamiques par un sous-titre supplémentaire "(à l'envers)". Lorsque l'état de JAVAFOIL est restauré à partir d'un fichier de configuration enregistré `.jpdata`, toute valeur négative pour la puissance, la traction ou le couple fera passer les profils aérodynamiques à l'orientation de l'éolienne.

Cette orientation à l'envers signifie également que vous ne pouvez pas simplement fabriquer une éolienne efficace à partir d'une hélice existante. Quand une hélice peut agir comme une éolienne, son efficacité est plutôt faible.

Comment concevoir une éolienne

JAVAPROP peut concevoir une éolienne optimale pour une vitesse de vent, une vitesse de rotation et un diamètre donnés. Pour concevoir une éolienne, il faut spécifier une valeur négative pour l'alimentation sur la carte Conception. La valeur elle-même n'est pas utilisée, seul son signe est vérifié. Tout le reste est identique à la conception de l'hélice, les données sur les profils aérodynamiques et les cartes d'Options sont utilisées pour la conception.

La conception suit la méthode de Glauert et prend donc en compte les pertes par tourbillon mais néglige les pertes par frottement. JAVAPROP détermine le rendement d'une éolienne comme le rapport du coefficient de puissance P_c pour les éoliennes) au coefficient de puissance P_c^* qui représente la puissance maximale pouvant être extraite du tube de flux traversant le rotor. Les pertes de tourbillon deviennent très importantes lorsque le rapport de vitesse de pointe X est considérablement inférieur à 1.0, c'est-à-dire que l'éolienne tourne trop lentement. À des rapports de vitesse bouts de pales élevés, le coefficient de puissance approche la limite dérivée par Betz pour un tourbillon nul, c'est-à-dire $P_c^* = 16/27$.



Figure 24 : Orientation des sections de profil aérodynamique sur une hélice et sur une éolienne.

Parce que JAVAFOIL renverse automatiquement les profils aérodynamiques lorsqu'une conception d'éolienne est effectuée, la conception peut être effectuée comme d'habitude avec un coefficient de portance de conception positif à chaque position radiale. Ce coefficient de portance est typiquement proche du maximum L/D de chaque section de profil aérodynamique.

Notez que la procédure de conception de l'éolienne est plutôt sensible et peut produire des formes qui ne conduiront pas à des résultats réalistes lors d'une analyse ultérieure. C'est généralement le cas lorsque le rapport d'avance est trop éloigné de la réalité. Par rapport à la conception des hélices, où n'importe quelle amplitude de puissance peut être mise à disposition, la plage utile des rapports d'avance pour les éoliennes est plus petite. L'éolienne tire sa puissance uniquement du vent entrant et doit surmonter la traînée de profil aérodynamique et les pertes d'impulsion.

Par conséquent, certaines expérimentations peuvent être nécessaires pour parvenir à une conception raisonnable. Les rapports d'avance typiques pour les éoliennes sont de l'ordre de $v / (n \cdot D) = 0.5$ à $v / (n \cdot D) = 1.5$. Il est également recommandé d'utiliser des profils aérodynamiques plus sophistiqués que par exemple la plaque plate. De plus un cône d'un diamètre pas trop petit pour couvrir la région du moyeu est utile pour éviter des angles d'attaque trop grands vers le centre du rotor.

Le procédé de conception peut être utilisé pour produire une première géométrie, qui est ensuite affinée et modifiée pour répondre à des exigences supplémentaires, comme une longueur de corde maximale souhaitée.

Grande Eolienne		
diamètre D	120	m
Diamètre du nez d'hélice	4	m
vitesse de rotation n	12	1/min
vitesse v	10	m/s
nombre de pales B	3	

Petite Eolienne		
diamètre D	0.35	m
Diamètre du nez d'hélice	0.05	m
vitesse de rotation n	1600	1/min
vitesse v	7	m/s
nombre de pales B	2	

Profils aérodynamiques		
r/R=0.0	MH 126	$\alpha=14^\circ$
r/R=0.333	MH 126	$\alpha=9^\circ$
r/R=0.667	MH 126	$\alpha=6^\circ$
r/R=1.0	MH 126	$\alpha=5^\circ$

Profils aérodynamiques		
r/R=0.0	E 193	$\alpha=8^\circ$
r/R=0.333	E 193	$\alpha=7^\circ$
r/R=0.667	E 193	$\alpha=6^\circ$
r/R=1.0	E 193	$\alpha=3^\circ$

Tableau 2 : Exemples de cas : « Grande éolienne » et « Petite éolienne ».

Comment analyser une éolienne

Les analyses de points de fonctionnement simples et multiples de JAVAPROP sont effectuées exactement de la même manière que l'analyse de l'hélice. Parfois, l'analyse des éoliennes peut être un peu plus sensible - il est recommandé d'utiliser un nez d'hélice pour masquer les sections les plus internes et d'utiliser des sections de profil aérodynamique raisonnables, pas la plaque plate.

Si vous souhaitez analyser une géométrie importée, vous devez vous assurer que les polaires du profil aérodynamique sont inversées en spécifiant une valeur négative dans la zone combinée puissance/traction/couple de la carte de Conception.

Notez que l'analyse des rotors en JAVAPROP peut être effectuée pour des valeurs constantes de n ou V ainsi que pour une puissance, une traction ou un couple constants – les trois dernières options (P , T , Q constants) nécessitent des valeurs négatives sur la carte de Conception pour une éolienne.



Une éolienne doit toujours produire la puissance de sortie maximale possible quelle que soit la vitesse du vent. Par conséquent, il doit fonctionner à son rapport de vitesse de bout de pale $X_{conception}$ qui lie la vitesse du vent et la vitesse de rotation par $\Omega = v_\infty \cdot X_{design} / R$.

Alors le coefficient de puissance serait toujours le maximum de $P_{C\ conception}$ et la puissance résultante augmente avec la puissance 3 de la vitesse du vent :

$$P = P_{C\ design} \cdot \rho / 2 \cdot v_\infty^3 \cdot \pi \cdot R^2 .$$

A une certaine vitesse de vent la puissance maximale du générateur est atteinte et la machine doit être soulagée en réduisant le coefficient de puissance. Cela doit être fait en déplaçant le rapport de vitesse de bout de pale hors du point optimal, soit en freinant activement pour réduire Ω ou en réduisant la charge du générateur et en laissant la machine tourner. Cette dernière n'est probablement possible que pour les petites machines où les vitesses de rotation élevées ne sont pas dangereuses.

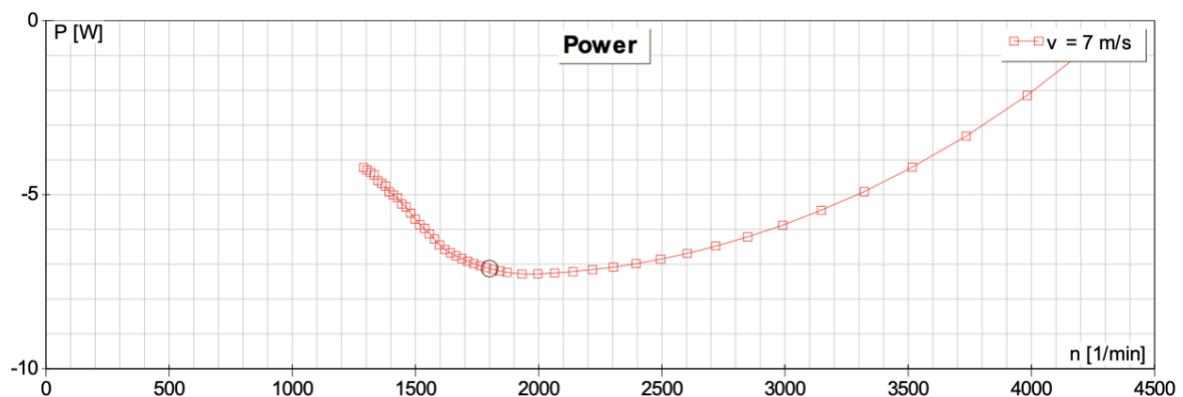


Figure 25 : Variation de la production électrique de la petite éolienne exemple avec vitesse de rotation pour une vitesse de vent constante $v_\infty = 7 \text{ m/s}$. Le cercle indique le point de conception proche du coefficient de puissance maximum. La puissance peut être réduite en augmentant ou en diminuant n .

5. Validation de JAVAPROP

Pour comparer les résultats de JAVAPROP avec des données expérimentales, un ensemble de résultats de test pour une hélice selon la conception 5868-9 du Navy Bureau of Aeronautics a été sélectionné. La géométrie de l'hélice ainsi que les données de test se trouvent dans le rapport NACA 594. L'hélice utilisait des profils aérodynamiques de type Clark Y et avait 3 pales. Les données illustrées à la Figure 27 concernent la configuration "Nez 6, hélice C". La géométrie de la pale, selon le rapport NACA, a été importée dans JAVAPROP via la carte de géométrie. L'angle de la pale à 75% du rayon a été ajusté pour correspondre aux angles donnés dans le rapport et les résultats produits par la carte Multi-Analyse ont été collectés dans une feuille de calcul Excel. Aucune autre retouche n'a été effectuée. La comparaison montre que JAVAPROP prédit assez bien les caractéristiques de performance générales dans la plage de fonctionnement "linéaire" typique. Pour cet exemple, la traction et la puissance sont quelque peu sous-estimées, ce qui indique que l'angle de portance zéro du profil aérodynamique Clark Y en JAVAPROP peut être trop faible. Une explication plus probable cependant est que l'angle de la pale des tests NACA se réfère au-dessous plat de la pale tandis que JAVAPROP utilise l'axe x de la section du profil aérodynamique comme référence. Malheureusement, les rapports NACA ne donnent pas d'indication claire sur la manière exacte dont l'angle de la pale a été mesuré. Dans le cas d'un profil aérodynamique Clark Y ayant une épaisseur de 12 %, la différence s'élève à environ 2°. Notez que la différence d'angle dépend de l'épaisseur du profil aérodynamique si la surface inférieure est maintenue en ligne droite.

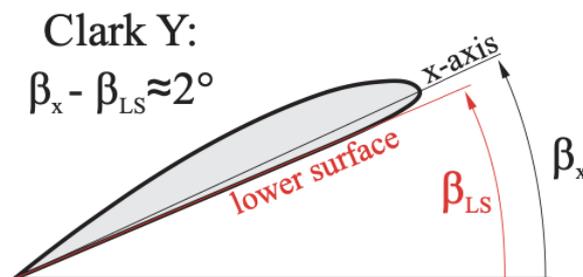


Figure 26 : Lignes de référence possibles pour la mesure de l'angle des pales.

Des niveaux similaires d'efficacité indiquent que le rapport portance / traînée du modèle de profil aérodynamique Clark Y en JAVAFOIL correspond bien aux tests.

De grandes déviations se produisent dans les régions vers la gauche, où l'hélice décroche. Ici, l'écoulement est largement séparé, tridimensionnel, instable et dépend également du champ d'écoulement externe (par exemple, vent de travers, interférence en soufflerie). De tels régimes d'écoulement vont au-delà des hypothèses de la théorie sous-jacente, de sorte qu'aucune bonne correspondance ne peut être attendue ici. Il convient de noter que les données expérimentales montrent également une dispersion considérable et un comportement irrégulier dans ce régime.

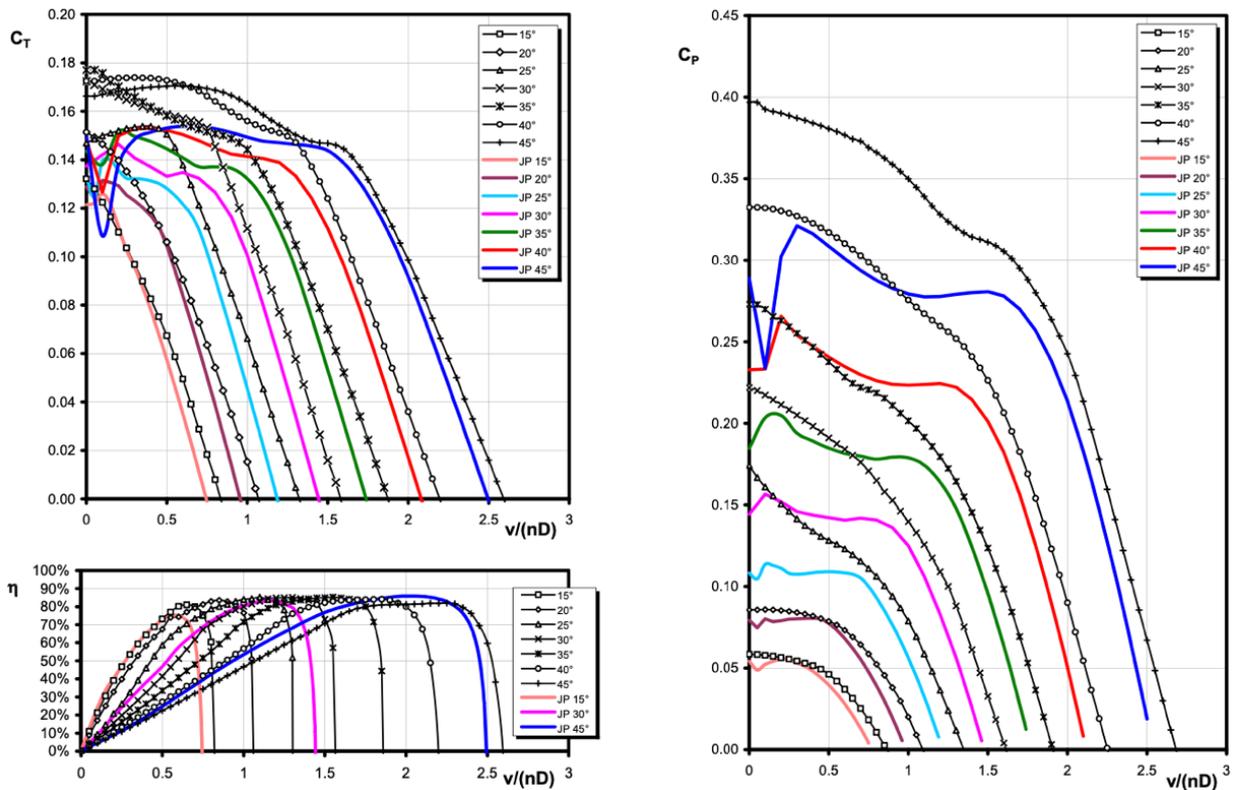


Figure 27 : Prédiction par JAVAPROP et données expérimentales de NACA R-594 (symboles).

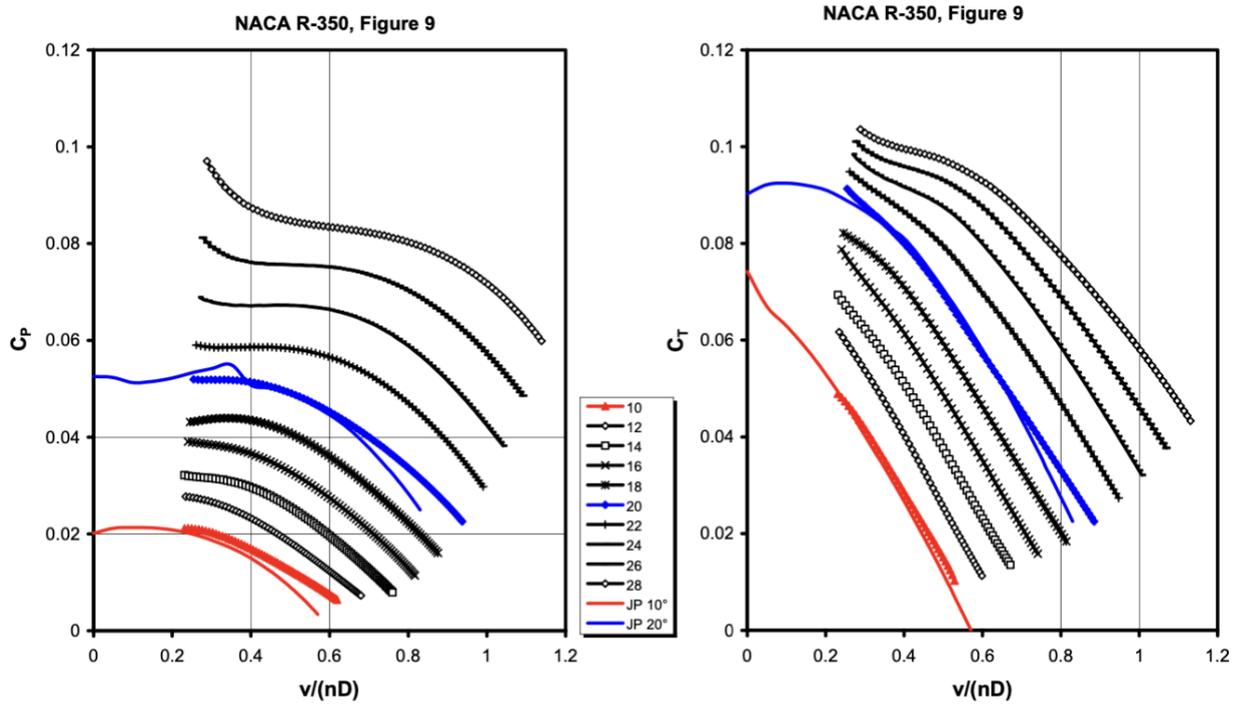


Figure 28 : Données prédites par JAVAPROP et données expérimentales de NACA R-350 (symboles).

6. Contrôler JavaProp à partir d'applications externes

Utiliser JAVAPROP avec GNU OCTAVE

GNU OCTAVE [10] est très similaire à Matlab et vous permet d'utiliser JAVAPROP directement à partir d'un OCTAVE script. Cela vous permet d'effectuer des tâches plus complexes sans utiliser le JAVAPROP GUI, par exemple le déplacement de paramètres ou l'optimisation numérique. L'exemple de script ci-dessous montre toutes les principales étapes de conception et d'analyse d'une hélice.

```
%-----  
% Une fonction pour encapsuler le code de l'hélice JavaProp %  
%-----  
% Peut être utilisé avec MatLab (testé avec la version 7.9.0)  
% ainsi qu'avec GNU Octave (testé avec la version 3.2.4).  
%  
% Conditions:  
% Pour Octave le paquetjava-1.2.7 ou supérieur est requis.  
%  
% Écrit par Martin Hepperle, décembre 2010.  
% La version initiale de cet exemple a été développée par  
% Ed Waugh, Université de Southampton, 2007.  
%-----  
%  
% JavaProp est Copyright 2001-2013 Martin Hepperle  
% http://www.mh-aerotoools.de/airfoils/javaprop.htm  
%  
%-----  
% DesignProp  
  
Fonction DesignProp ()  
  
% ajouter les archives au classpath Java (ne doit être fait qu'une fois  
% par session, mais peut être appelé plusieurs fois)  
chemin de base = './java' ;  
javaaddpath ( [basepath, '\', 'JavaProp.jar'] );  
javaaddpath ( [basepath, '\', 'MHClasses.jar'] );  
  
% Nombre de sections de pale, augmenter cela signifie un temps d'exécution plus long  
% mais une plus grande précision.  
% Des résultats suffisamment précis sont obtenus avec 25 à 50 éléments de lame.  
blade_sections = 21 ;  
  
% Créez un objet hélice sur lequel travailler et nommez-le  
PropDesign = javaObject ( 'MH.JavaProp.Propeller',  
blade_sections );  
PropDesign.Name = 'JavaProp-Test';
```

```

% paramètres environnementaux (atmosphère au niveau de la mer)
PropDesign.Density = 1,225 ; % [kg/m3]
PropDesign.KinematicViscosity = 0.000014607 ; % [m^2/s]
PropDesign.SpeedOfSound = 340,29 ; % [Mme]

% Définir la répartition du profil
% effacer toutes les valeurs de la distribution du profil aérodynamique
PropDesign.removeAirfoils();
% définir de nouvelles valeurs pour la distribution du profil aérodynamique
theAirfoil = createAirfoil ( 3 );
PropDesign.setAirfoil ( 0.000, theAirfoil );

theAirfoil = createAirfoil ( 3 );
PropDesign.setAirfoil ( ( 1/3), theAirfoil );

theAirfoil = createAirfoil ( 4 );
PropDesign.setAirfoil ( ( 2/3), theAirfoil );

theAirfoil = createAirfoil ( 4 );
PropDesign.setAirfoil ( 1.000, theAirfoil );

% définir les angles d'attaque de conception (degrés)
% effacer toutes les valeurs de la distribution des angles d'attaque
PropDesign.removeAnglesOfAttack();
% définir de nouvelles valeurs pour la distribution de l'angle d'attaque
PropDesign.addAlfa ( 0.000, 3.0 );
PropDesign.addAlfa ( ( 1/3), 3.0 );
PropDesign.addAlfa ( ( 2/3), 3.0 );
PropDesign.addAlfa ( 1.000, 3.0 );

% définir les dimensions de l'hélice [m]
Diameter = 0,457 ;
Radius = Diameter / 2 ;

% nombre de pales
PropDesign.BladeCount = 2 ;

% définir la taille du nez d'hélice [m]
SpinDiameter = 0,126 ;
PropDesign.rRSpinner = SpinDiameter / Diameter;

% Définir les conditions de conception pour l'hélice
% La géométrie de l'hélice résultante sera optimisée pour donner le
% maximum d'efficacité au point spécifié. La traction ou la puissance peuvent être définies en %, mais pas
% les deux. Un doit être mis à zéro. Pour utiliser une valeur de couple, réglez à la fois la puissance
% et la traction sur zéro.

Airspeed = 30 ; % [m/s]
RPM = 5000 ; % [tours/min]

Frequency = (RPM / 60);% fréquence [Hz]
Omega = 2 * pi * Frequency; % vitesse angulaire [rad/s]

% spécifiez l'un de ces trois, mettez les autres à zéro
Power = 0 ; % [Watts]
Thrust = 0 ; % [Newton]
Torque = 0,915 ; % [Nm]

si Power == 0 % si la puissance et la traction sont nulles, utiliser le couple
si Torque == 0

```

```

    Power = Torque * Omega;
end
end

% créer une hélice
PropDesign.performPropellerDesign ( Airspeed, Omega, ...
                                     Radius, Power, Thrust );

% effectuer une analyse à un taux d'avance inférieur (juste à titre d'exemple)
PropDesign.performAnalysis ( 0.5*Airspeed / (Frequency * Diameter) );

% assigner l'objet PropDesign à l'espace de travail de base
assignin ( 'base','PropDesign', PropDesign );

end
%-----
function [theAirfoil] = createAirfoil ( AirfoilNo )
%
% Générer et initialiser un profil aérodynamique.
%
% Il est également possible de définir un répertoire de base qui sera utilisé ultérieurement,
% lorsque Init(n) est appelé avec n >= 14 pour lire les polaires du profil
% à partir du fichier af_1.af1 (ou, s'il n'est pas trouvé à partir de af_1.xml) dans le répertoire JP
%
% theAirfoil.setBaseDir("c:/...");
% theAirfoil.Init ( 14 );
%

theAirfoil = javaObject ( 'MH.AeroTools.Airfoils.Airfoil' );
theAirfoil.Init ( AirfoilNo );

end

```

Utiliser JavaProp avec MATLAB

Comme avec OCTAVE, il est aussi possible d'accéder à ses classes depuis un MATLAB[11] script. L'application est identique à l'intégration dans GNU OCTAVE.

Utiliser JavaProp avec MATHEMATICA

WOLFRAM MATHEMATICA[12] peut également s'interfacer avec les classes Java. Comme je ne suis pas un expert en MATHEMATICA, le bloc-notes suivant n'est probablement pas la façon la plus élégante d'utiliser MATHEMATICA, mais cela devrait suffire à montrer comment interfacer JAVAPROP et MATHEMATICA. Notez les commentaires de l'exemple sur l'utilisation d'un Java runtime récent.

```

(* Cet exemple simple montre comment JavaProp peut être utilisé depuis Wolfram \ Mathematica 9.0 *)
(* préparer l'environnement *)
path = "D:\\Users\\Martin Hepperle\\workspace\\JavaProp\\java" ; Besoins["JLink"] ;
InstallJava[] ;

(* Adapter selon les besoins de votre installation locale.

```

J'ai testé brièvement avec la version d'évaluation de Mathematica 8.0 et 9.0 mais je ne suis pas un expert en Mathematica et je n'ai pas non plus le logiciel disponible sur mon système personnel. j'ai renommé le sous-répertoire "D:\Program Files\Wolfram\Research\Mathematica\9.0\SystemFiles\Java\Windows" à "__Windows" et aussi "Windows-x86-64" à "__Windows-x86-64" de sorte que Mathematica ne puisse pas trouver sa propre installation Java.

Il semble alors utiliser le runtime Java qu'il trouve via le système PATH - j'ai "D:\Java\jdk1.8.0_05\bin" dans ma variable d'environnement PATH.

Si je ne supprime pas l'accès au runtime Java installé par Wolfram, Mathematica se plaint que les fichiers de classe sont au format illisible version 51.

Il est possible que les versions ultérieures (10.0 et supérieures) installent un runtime Java plus récent afin que cette procédure ne soit plus nécessaire.

*)

```
AddToClassPath[chemin <> "\\JavaProp.jar"] ;
AddToClassPath[chemin <> "\\JavaClasses.jar"] ;
```

```
(* définir le nombre de sections de pales pour la discrétisation élémentaire *)
bladeSections = 20 ;
```

```
(* Créez un objet Propeller sur lequel travailler et nommez-le *)
```

```
PropDesign =
  JavaNew["MH.JavaProp.Propeller", bladeSections] ;
PropDesign@Name = "JavaProp de Mathematica" ;
```

```
(* définir l'environnement - note : les unités métriques sont utilisées dans JavaProp *)
```

```
(* densité de l'air en kg/m3 *)
```

```
PropDesign@Densité = 1,2210 ;
```

```
(* viscosité cinématique de l'air en m2/s *)
```

```
PropDesign@KinematicViscosity = 0,000014607 ; (*
```

```
vitesse du son dans l'air en m/s *)
```

```
PropDesign@SpeedOfSound = 340,29 ;
```

```
(* Définir la distribution du profil par airfoilSections
```

```
Syntaxe : setAirfoil(N,r/R,Section)
```

```
N - Numéro de profil aérodynamique dans l'ordre de la liste, 0...
```

```
(AirfoilSections-1) r/R - Rapport de position du profil, R=Radius, r=position
```

```
0.0 = racine, 0.5=centre, 1.0=pointe
```

```
Section - Un numéro de la liste suivante de sections de profil 1-Flat plate,Re=100'000
```

```
2-Plaque plate,Re=500'000
```

```
3-Clark Y,Re=100'000
```

```
4-Clark Y,Re=500'000
```

```
5-E 193,Re=100'000
```

```
6-E 193,Re=300'000
```

```
7-ARA D 6%,Re=50'000
```

```
8-ARA D 6%,Re=100'000
```

```
9-MH 126,Re=500'000
```

```
10-MH 112 16.2%,Re=500'000 11-MH
```

```
114 13%,Re=500'000 12-MH 116
```

```
9.8%,Re=500'000 13-MH 120
```

```
11.7%,Re=400'000,M =0,75
```

```
14-Lire depuis le fichier af_1.afl (ou, si non trouvé depuis af_1.xml) dans le répertoire JP
```

```
15- Lire depuis le fichier af_2.afl (ou, si non trouvé depuis af_2.xml) dans le répertoire JP
```

```
*)
```

```
(* L'exemple est une hélice Clark Y utilisant deux polaires de profil aérodynamique différentes *)
```

```
PropDesign@removeAirfoils [] ;
```

```
AirfoilNo = 3 ;
theAirfoil = JavaNew["MH.AeroTools.Airfoils.Airfoil"] ;
theAirfoil@Init [AirfoilNo] ;
PropDesign@setAirfoil [0.0, theAirfoil] ;
```

```
theAirfoil = JavaNew["MH.AeroTools.Airfoils.Airfoil"] ;
theAirfoil@Init [AirfoilNo] ;
PropDesign@setAirfoil [(1.0/3.0), theAirfoil] ;
```

```
Profil aérodynamiqueNo = 4 ;
theAirfoil = JavaNew["MH.AeroTools.Airfoils.Airfoil"] ;
theAirfoil@Init [AirfoilNo] ;
PropDesign@setAirfoil [(2.0/3.0), theAirfoil] ;
```

```
theAirfoil = JavaNew["MH.AeroTools.Airfoils.Airfoil"] ;
theAirfoil@Init [AirfoilNo] ;
PropDesign@setAirfoil [1.0, theAirfoil] ;
```

(* définir les angles d'attaque de conception (en degrés) *)

```
PropDesign@removeAnglesOfAttack [] ;
PropDesign@setAlfa [0.000, 4.0] ; PropDesign@setAlfa
[(1.0/3.0), 3.0] ; PropDesign@setAlfa [(2.0/3.0), 2.0] ;
PropDesign@setAlfa [1.000, 1.0] ;
```

(* Définissez la taille du spinner (en mètres) *)

```
Diamètre de spin = 0,126;
PropDesign@rRSpinner = SpinDiamètre/Diamètre ;
```

(* Définir les conditions de conception pour l'hélice

La géométrie de l'hélice résultante sera optimisée pour donner le maximum d'efficacité au point spécifié.
La traction ou la puissance peuvent être définies, mais pas les deux. Un doit être mis à zéro. Pour utiliser
une valeur de couple, réglez la puissance et la traction sur zéro. *)

(* mètres de vitesse de vol/seconde*)

```
Airspeed = 50,0;
```

(* tours de l'arbre porte-hélice par minute *)

```
RPM = 5000;
```

(* vitesse angulaire rad/s *)

```
Omega = 2.0*Pi*(RPM/60);
```

(*Watts*)

```
ShaftPower = 0 ;
```

(* Newtons *)

```
Torque = 0;
```

(*Nm*)

```
Couple = 0,915;
```

(* Si la puissance et la traction sont nulles, utilisez le couple *)

```
si [ShaftPower == 0 ,
if [ Poussée == 0 , ShaftPower = Torque*Omega ] ] ;
```

(* créer une géométrie d'hélice par conception *)

PropDesign@

performPropellerDesign[Airspeed, Omega, Radius, ShaftPower, Thrust] ;

(* maintenant que nous avons une Conception, nous pouvons la modifier *)

PropDesign@incrémentLameAngle[0,0];

(* Augmente l'angle de pale local Beta mais dBeta constant *)

PropDesign@

multiplierAngleLame[1.0] ;

(* Multiplie l'angle de pale local Beta par une constante *)

PropDesign@incrémentAccord[0,0] ;

(* Incrémente l'accord local c/R par la constante c/R *)

PropDesign@multiplierAccord[1.0] ;

(* Multiplie l'accord local c/R par le facteur c/R constant *)

\

PropDesign@taperChord[1.0] ;

(* Multiplie l'accord local c/R par une variable linéaire \ c/R fait ou *)

(* créer un joli tableau de résultats *)

resultTable1 = Text@Grid [

```
{
  { PropDesign@Name , SpanFromLeft },
  { "Lames", PropDesign@BladeCount },
  { "RPM", RPM, "1/min" },
  { "v", PropDesign@V , "m/s" },
  { "Diameter", Diamètre, "m" },
  { "Thrust", PropDesign@Pousse , "N" },
  { "Power", PropDesign@Puissance , "W" },
  { "Torque", PropDesign@getTorque [], "Nm" },
  { "v/(nD)", Airspeed/(RPM/60.0*Diameter)},
  { "Pitch", PropDesign@getBladePitch [], "m" },
  { "Blade", PropDesign@getBladeAngle [], "[Degree]" },
  { "CP", PropDesign@CP },
  { "CT", PropDesign@CT },
  { "Eta", PropDesign@Eta }
},
```

Frame -> All] ;

cr = Transposer[{ PropDesign@rR , PropDesign@Chord }] ;

br = Transposer[{ PropDesign@rR , 180.0* PropDesign@Beta /Pi }] ;

(* Effectuez une analyse hors conception au v/(nD) prescrit *)

PropDesign@performAnalysis [0.5*Airspeed/((RPM/60)*Diameter)] ;

(*créer un joli tableau avec des résultats hors-design*)

resultTable2 = Text@Grid [

```
{
  {"Off-Design", SpanFromLeft},
  {"Blades", PropDesign@BladeCount},
  {"RPM", RPM, "1/min"},
  {"v", PropDesign@V, "m/s"},
  {"Diameter", Diameter, "m"},
  {"Thrust", PropDesign@Thrust, "N"},
  {"Power", PropDesign@Power, "W"},

```

```

{"Torque", PropDesign@getTorque[], "Nm"},
{"v/(nD)", Airspeed/(RPM/60.0*Diameter)},
{"Pitch", PropDesign@getBladePitch[], "m"},
{"Blade Angle", PropDesign@getBladeAngle[], "[Degree]"}, {"CP", PropDesign@CP},

{"CT", PropDesign@CT}, {"Eta", PropDesign@Eta } },
Frame -> All];

(* mettre fin à toutes les machines virtuelles et processus Java *)
UninstallJava[];

(* montrer les résultats *)
Join[resultTable1, resultTable2]
ListLinePlot[cr, PlotLabel -> "chord length distribution", AxesLabel -> {"r/R", "c/R"}]
ListLinePlot[br, PlotLabel -> "blade angle distribution", AxesLabel -> {"r/R", "beta [[Degree]]"}]

```

Les tableaux et graphiques résultants doivent ressembler à la figure suivante.

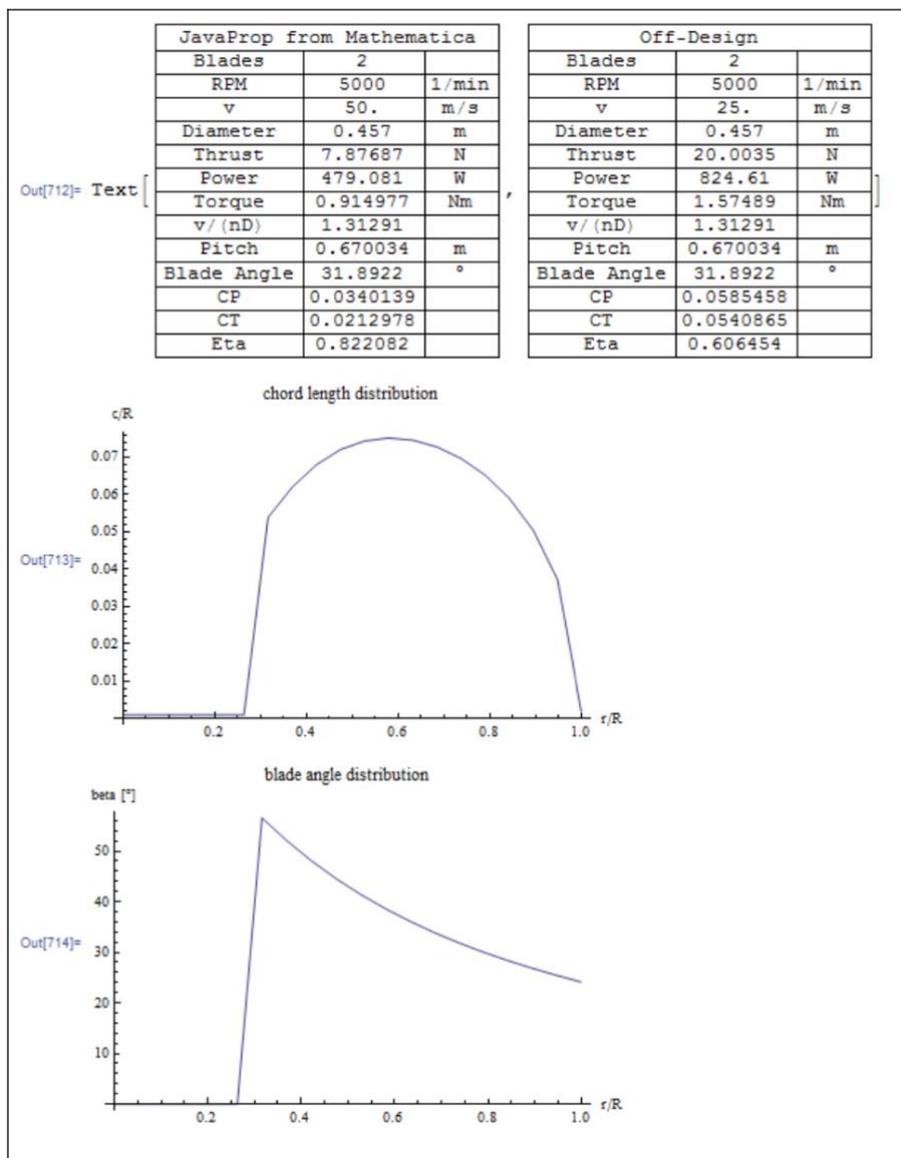


Figure 29 : Résultats produits en appelant JAVAPROP de MATHEMATICA 9.0.

Utiliser JavaProp avec MAPPLE

Afin de vous épargner de longs essais, je dois dire que Maple n'a qu'un support très limité et presque inutile pour Java. Il ne prend pas en charge la création d'objets Java et ne peut donc pas facilement interagir avec JAVAPROP sans la création de solutions de contournement étendues et laides.

Le modèle d'objet de l'hélice

Les champs, propriétés et méthodes publics disponibles dans l'objet Hélice sont décrits dans un document PDF JAVADOC séparé. Ceux-ci peuvent être utilisés à partir de tous les environnements de programmation compatibles Java, comme illustré ci-dessus.

7. Références

- [1] A. Betz: “Schraubenpropeller mit geringstem Energieverlust” (avec un addendum de L. Prandtl) dans “Vier Abhandlungen zur Hydrodynamik und Aerodynamik”, réimpression de l'édition de 1927, Göttingen, 1944.
- [2] H. Glauert: “Die Grundlagen der Tragflügel und Luftschraubentheorie”, traduction de H. Holl, Berlin 1929.
- [3] H. B. Helmbold: “Über die Goldstein'sche Lösung des Problems der Luftschraube mit endlicher Flügelzahl”, Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt, 14. Carnet, 1931.
- [4] Larrabee, E., “Practical Design of Minimum Induced Loss Propellers”, Society of Automotive Engineers Business Aircraft Meeting and Exposition, Wichita, KS, SAE paper 790585, Avril 3-6, 1979.
- [5] Adkins, Liebeck, N., R. H., “Design of Optimum Propellers”, Journal of Propulsion and Power, Vol. 10, No. 5, 1994, pp. 676-682.
- [6] Adkins, N., Liebeck, R. H., “Design of Optimum Propellers”, 21st Aerospace Sciences Meeting, Reno, AIAA Paper 83-0190, Janvier 1983.
- [7] Wald, Q. R., “The aerodynamics of propellers”, Progress in Aerospace Sciences, 42, 2006, pp. 85-128, doi:10/1016/j.paerosci.2006.04.001.
- [8] R. Eppler and M. Hepperle: “A procedure for Propeller Design by Inverse Methods”, in G.S. Dulikravich: Proceedings of the “International Conference on Inverse Design Concepts in Engineering Sciences” (ICIDES), pp. 445-460, Austin, Octobre 17-18, 1984.
- [9] K. Wiederhöft, “60 Jahre nach Hütter. Aerodynamische Radialschnitttheorie für Windenergieanlagen”, DEWEK 2002.
- [10] GNU Octave: see <http://www.octave.org> [consulté 20 Décembre 2010].
- [11] Mathworks Matlab: see <http://www.mathworks.com/> [consulté 20 Décembre 2010].
- [12] Wolfram Mathematica: see <http://www.wolfram.com/> [consulté 20 Décembre 2010].

8. Localisation

Les ressources linguistiques de JAVAPROP ont été traduites par les personnes listées dans le tableau ci-dessous. Au fil du temps, de nouvelles chaînes peuvent avoir été ajoutées, de sorte que les traductions peuvent ne pas être à jour. Dans ce cas, vous êtes priés de fournir les chaînes manquantes ou incorrectes afin que je puisse les intégrer dans JAVAPROP.

Langue	Code	Auteur	Année
Anglais	fr	Martin Hepperle, Brunswick, Allemagne	2001
Allemand	de	Martin Hepperle, Brunswick, Allemagne	2001
Français	en	Giorgio Toso, Montréal, Canada	2002
Italien	ce	Giorgio Toso, Montréal, Canada	2002
Portugais	pt	João Alveirinho Correia, Portugal	
Néerlandais	nl	pas encore fait	
Chinois simplifié	zh_CN	JX Ding, Taipei, République de Chine	2011
Chinois traditionnel	zh_TW	JX Ding, Taipei, République de Chine	2011

9. Historique des versions incomplet

Version	Date	Commentaires
1.69	1 août 18	Ajout d'une correction pour maintenir les coefficients de portance de conception, ajout de boutons "Air" et "Eau" sur la carte Options pour définir les propriétés par défaut du support.
1.68	1 juin 16	Ajout d'une option pour le facteur de perte de moyeu.
1.67	26 janv. 16	Correction de l'import de fichiers polaires externes.
1.66	19 avril 15	Détermination fixe du facteur d'activité.
1.65	25 janv. 15	Ajout d'une analyse après l'importation de la géométrie sur la carte Géométrie afin que la carte Conception reflète la géométrie importée
		Intégrales d'impulsion ajoutées à l'analyse pour obtenir la puissance en impulsion axiale et tourbillonnante ainsi que la puissance perdue.
		Ajout de méthodes pour ajuster l'angle de la lame pour le CP souhaité resp. CT (non disponible via l'interface graphique).
		Ajout de méthodes pour ajuster la vitesse de l'hélice en fonction de la puissance resp. traction souhaitée. (non disponible via l'interface graphique).
		Ajout simplifié de sections de profil aérodynamique et conception de la distribution de l'angle d'attaque (nécessite des modifications de l'application de script externe)
1.64	05 janv. 14	Rendre la fonction d'importation sur la carte géométrique plus robuste.
1.63	20 oct. 13	Ajout d'une ligne de filetage et d'une épaisseur de bord de fuite à la carte Modifier.
1.62	22 juillet 13	v_{ax}/v ajouté et v_{tan}/v vers la Table d'Analyse Unique.
1.61	24 mai 13	Ajout d'une option pour fournir des formes pour les profils aérodynamiques définis par l'utilisateur. Modification du schéma de dénomination polaire pour être cohérent avec le schéma de dénomination de la géométrie.
1.6	12 mai 13	Ajout de tracés de propriétés de sillage à la carte Géométrie
1.59	01 nov. 12	Petites modifications et robustesse accrue.
1.58	1 mars 12	Correction de la dépendance locale des données à virgule flottante dans .jpdata. Ajout de la sauvegarde et de la restauration des derniers paramètres.
		Ajout de l'épaisseur de la lame locale au tableau sur la carte Géométrie.
1.57	25 août 11	Ajout de fonctionnalités en chinois.
		Ajout de chaînes de ressources supplémentaires.
		Code de rappel d'expiration nettoyé.
		Ajout de l'enregistrement et de la restauration de la plupart des paramètres de l'interface graphique à la sortie et au démarrage dans les préférences de l'application.
1.56	07 janv. 11	Ajout d'étiquettes stylées aux graphiques pour les sous- et exposants de mhclasses.jar.
		Angle de balayage introduit en fonction du nombre de Mach local
1.55	30 juin 10	Correction : la liste des profils aérodynamiques n'était pas mise à jour lorsque le répertoire de travail était modifié par l'option de ligne de commande WorkDir=....
		Correction : la table de géométrie n'était pas mise à jour lorsque le profil aérodynamique était sélectionné.
		Exportation XML compatible PROPPY de la géométrie de l'hélice ajoutée.
1.54	31 mars 10	traction locale, puissance, efficacité ajoutées à une carte d'analyse unique, méthode de conception d'éolienne Wiederhöft ajoutée.

1,53	01 janv. 10	Carte Multi-Analyse raffinée, ajout de V=const. mode d'analyse.
1.52	10 oct. 2009	Ajout de l'exportation IGES de la géométrie de la section de pale 3D
1.51	20 sept. 09	Ajout de graphiques de force de cisaillement et de moment de flexion à une seule carte d'analyse.
1.5	02 sept. 09	Conception et analyse d'éoliennes ajoutées.
1.41		Sortie supplémentaire des coefficients d'effort tranchant et de moment de flexion sur une seule carte d'analyse.
1.4		Raffinement de la carte Multi-Analyse, Q=const. ajoutée.
1.39		Raffinement de la carte multi-analyse, ajout du graphique RPM.
1.38		Correction : erreur lors de la sauvegarde/restauration du paramètre de couple sur la carte de conception
1.37		Correction : erreur dans l'export DXF 3D (le nez d'hélice était négligé dans DXF j-index).
1.36		Correction : erreur de transfert d'angle d'attaque sur la carte Airfoil.
		Ajout d'une itération sur la carte de conception afin que l'analyse corresponde avec précision aux paramètres de conception.
1,35		Écrêtage modifié du facteur d'induction a pendant l'analyse.
1.33		Commandes CopyText et CopyHTML d'analyse unique étendues pour inclure plus de données.
1.3		Modification de la taille de XYCanvas.
1.29		Correction : erreur dans la carte de modification : l'angle allait toujours à 90 °
1.27		Correction : Calcul de la carte Flow Field de "a" (dA).
1.26		Ajout de la carte Flow Field.
1.0	2001	Version initiale