



## 5. Modélisation

---

### 5.1 Introduction

Quelle propulsion utiliser ? Quel moteur ? Quelle hélice ? Quelle doit être la surface de l'aile et des empennages pour assurer à la fois une sustentation suffisante et une bonne stabilité ? Quelle sera la masse à vide de l'appareil ? Quelle sera sa qualité aérodynamique ? Quelles seront ses performances pour les différentes phases de vol ? Est-il possible de respecter les exigences du cahier des charges ? Comment satisfaire les contraintes liées à la réglementation ? Faut-il envisager une configuration avec un ou deux moteurs ... ? Les questions sont multiples.

Le module « Modélisation » sera utilisé pour répondre de façon efficace et rapide à l'ensemble de ces questions.

PCA2000 traite la modélisation en 3 phases :

1. Phase 1 ou Modélisation de niveau 1 : Sur base d'un nombre limité de données d'entrée le modèle détermine la géométrie de l'appareil et la puissance nécessaire pour atteindre au point d'adaptation (ou phase de vol principale) les performances voulues.
2. Phase 2 ou Modélisation de niveau 2 : Les données d'entrées sont plus précises et plus nombreuses que celles nécessaires pour réaliser la phase précédente. L'utilisateur choisit certains composants dans des catalogues de produits (moteur, profils de surface portante, pneumatiques, ...). La géométrie de l'appareil ainsi que son devis de masse sont actualisés sur base de ces nouvelles données d'entrée. Les performances sont calculées pour différentes phases de vol : le décollage, la montée et la croisière. Les résultats sont affichés sous forme de tableaux et de graphiques qu'il est très facile d'analyser.
3. Phase 3 ou Modélisation de niveau 3 : Contrairement aux 2 niveaux de modélisation précédents, la modélisation de niveau 3 détermine les performances de l'appareil pour une masse de vol et une géométrie données. L'objectif de cette modélisation est triple :
  - a. Etudier les performances (décollage, montée et croisière) d'un appareil donné pour différentes masses de vol.
  - b. Modéliser les effets de modifications apportées sur un appareil donné (remplacement du train fixe par un train rentrant, modification de la surface de l'aile, remotorisation, modification des qualités aérodynamiques, ...) de façon à visualiser les effets de la modification sur l'ensemble du système.
  - c. Définir des bornes ou des limites au-delà desquelles le (nouveau) développement ne se justifierait plus. Pouvoir chiffrer par exemple les effets d'une dérive du devis de masse sur les performances générales de l'appareil.



## 5.2 Table des matières

<b>5.</b>	<b>MODÉLISATION</b> .....	<b>1</b>
5.1	Introduction.....	1
5.2	Table des matières.....	2
5.3	Modélisation de niveau 1.....	3
5.3.1	Description .....	3
5.3.2	Données d'entrées .....	5
5.3.3	Calculs.....	12
5.3.4	Résultats .....	13
5.4	Modélisation de niveau 2.....	16
5.4.1	Description .....	16
5.4.2	Remarques.....	18
5.4.3	Données d'entrées .....	19
5.4.4	Calculs.....	29
5.4.5	Résultats .....	30
5.5	Modélisation de niveau 3.....	39
5.5.1	Description .....	39
5.5.2	Remarques.....	41
5.5.3	Données d'entrées .....	42
5.5.4	Calculs.....	51
5.5.5	Résultats .....	52

## 5.3 Modélisation de niveau 1

### 5.3.1 Description

Pour accéder au module « Modélisation » **cliquez** sur [Modélisation], [Avions] puis [Niveau 1] de la barre de menus de la fenêtre principale. Vous pouvez également y accéder directement en cliquant sur  de la barre d'outils verticale.

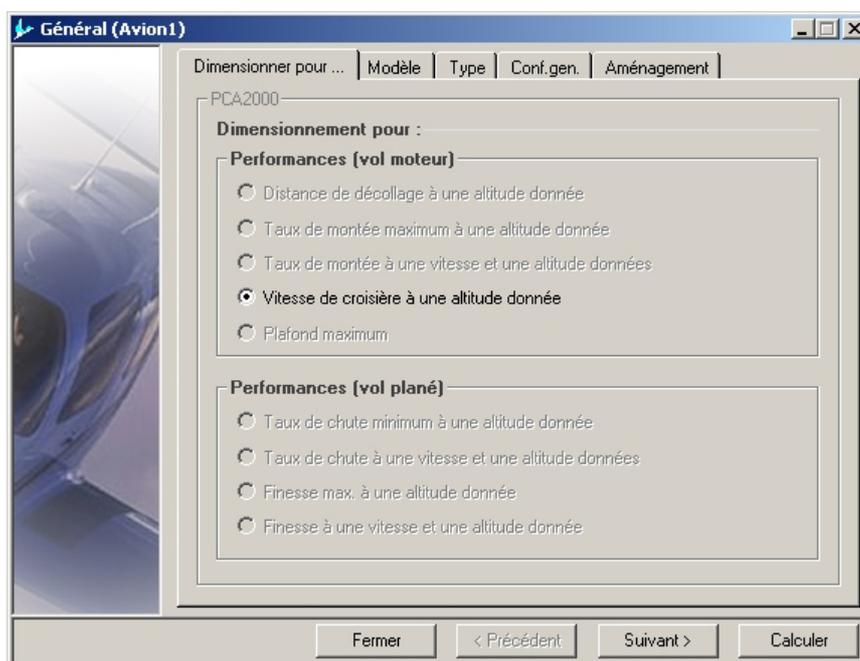


Figure 5.1 : Modélisation de niveau 1 (Général)

Si vous avez choisi d'accéder au module « Modélisation » via le bouton de commande , vous serez peut être amené à préciser le niveau de modélisation souhaité. Ceci se fait via la barre d'état de la fenêtre principale. **Cliquez** à l'endroit indiqué jusqu'à ce que le chiffre affiché soit 1.



Niveau de modélisation

Figure 5.2 : Barre d'état de la fenêtre principale

L'acquisition des données d'entrée se fait via 10 fenêtres spécifiques :

1. Généralités
2. Aile
3. Empennages
4. Fuselage
5. Moteur
6. Hélice
7. Performances
8. Masses
9. Aérodynamique
10. Options

Chaque fenêtre contient un ensemble de champs que l'utilisateur doit obligatoirement compléter pour pouvoir effectuer la modélisation. Les **champs grisés** sont inaccessibles et réservés à une modélisation d'un niveau différent de celui en cours.



Pressez à tout instant sur la touche **F1** pour accéder à l'aide contextuelle.



Pour naviguer entre les contrôles d'une fenêtre, utilisez la **touche de tabulation**.



Pour naviguer entre les fenêtres, utilisez les touches  ou  ou le menu de la barre d'outils verticale.

### 5.3.2 Données d'entrées

#### 5.3.2.1 Généralités

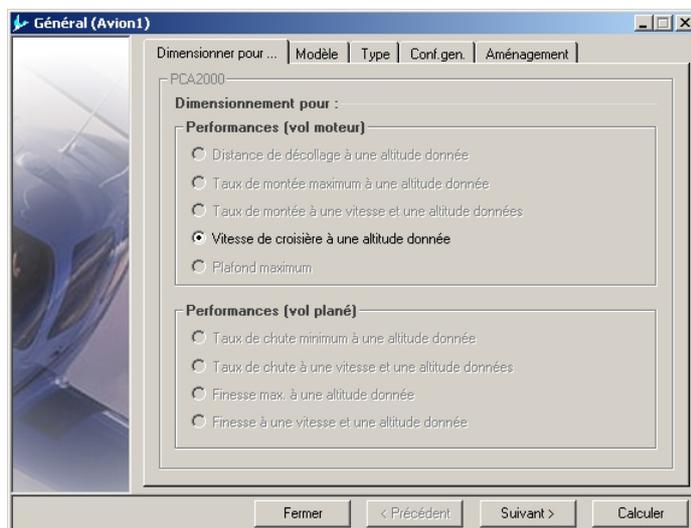


Figure 5.3 : Modélisation de niveau 1 (Général)

#### 5.3.2.2 Aile

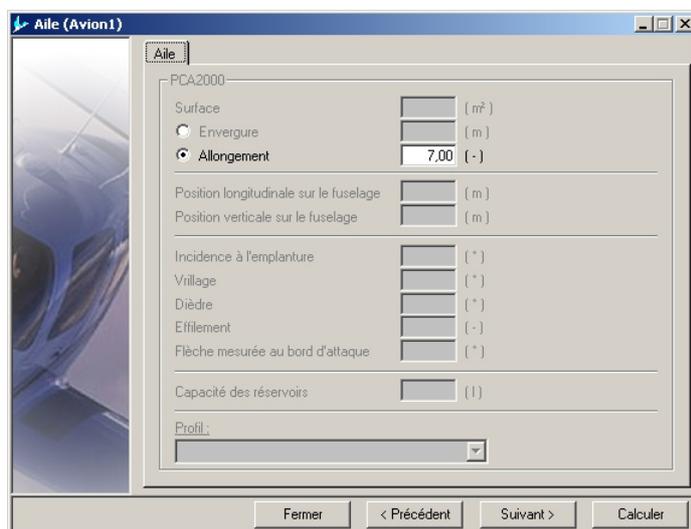


Figure 5.4 : Modélisation de niveau 1 (Aile)

### 5.3.2.3 Empennages

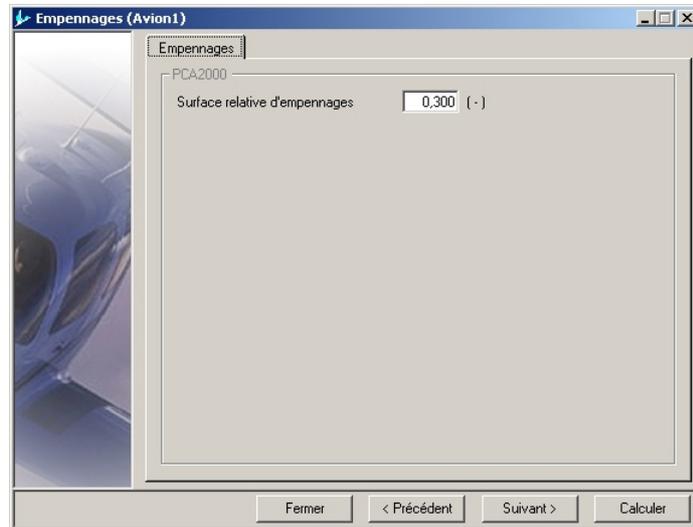


Figure 5.5 : Modélisation de niveau 1 (Empennages)

Lors d'une modélisation de niveau 1, en fonction de la configuration générale de l'appareil, la surface relative d'empennages comprend à la fois l'empennage horizontal, vertical et le plan canard.

### 5.3.2.4 Fuselage

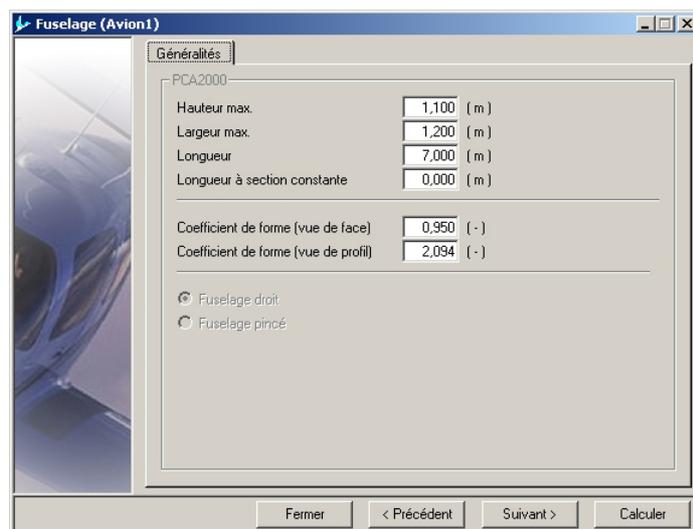
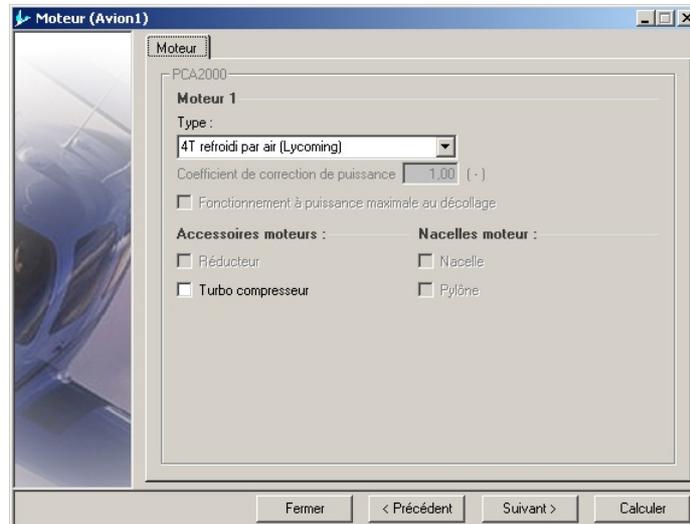


Figure 5.6 : Modélisation de niveau 1 (Fuselage)

5.3.2.5 Moteur**Figure 5.7 : Modélisation de niveau 1 (Moteur)**

L'objectif de la modélisation de niveau 1 est de déterminer entre autre la puissance théorique du moteur pour atteindre les performances voulues. A ce niveau de modélisation, dans le but d'être le plus exhaustif possible, on ne choisit par conséquent pas un moteur donné mais un moteur d'une technologie donnée dont seront extraites les caractéristiques de masse et de consommation spécifiques.

20 catégories différentes de moteur ont été définies :

1. 2T refroidi par air
2. 2T refroidi par air (Rotax)
3. 2T refroidi par liquide
4. 2T refroidi par liquide (Rotax)
5. 2T refroidi par liquide (2SI)
6. 4T refroidi par air
7. 4T refroidi par air (Jabiru)
8. 4T refroidi par air (Lycoming)
9. 4T refroidi par air (Limbach/Sauer)
10. 4T refroidi par air & injection
11. 4T refroidi par air & injection (Lycoming)
12. 4T refroidi par air & turbo-injection (Lycoming)
13. 4T refroidi par liquide
14. 4T refroidi par liquide (Rotax)
15. Diesel 2T refroidi par air

16. Diesel 2T refroidi par liquide
17. Diesel 4T refroidi par air
18. Diesel 4T refroidi par liquide
19. Rotatif refroidi par liquide
20. Turbopulseur

Une analyse statistique a été faite sur tous les moteurs appartenant à une catégorie donnée afin de définir des lois d'évolution de la masse et de la consommation spécifique en fonction de la puissance nominale du moteur.

Pour une modélisation de niveau 1, la masse de la propulsion ainsi que la quantité de carburant nécessaire pour remplir la mission donnée sont définies à partir de ces lois.

### 5.3.2.6 Hélice

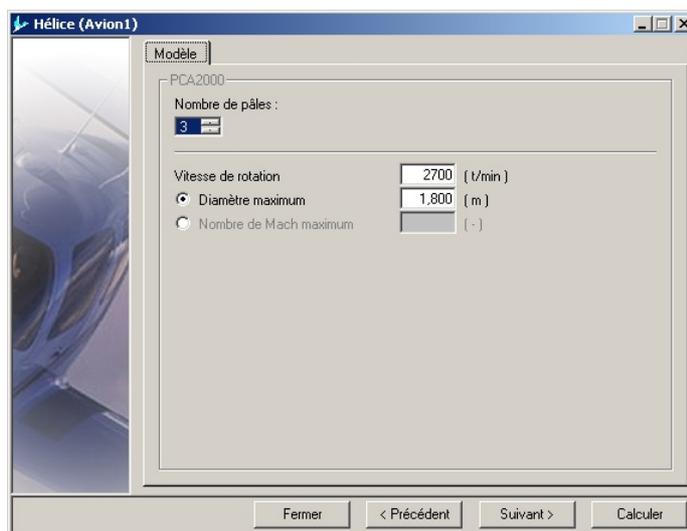
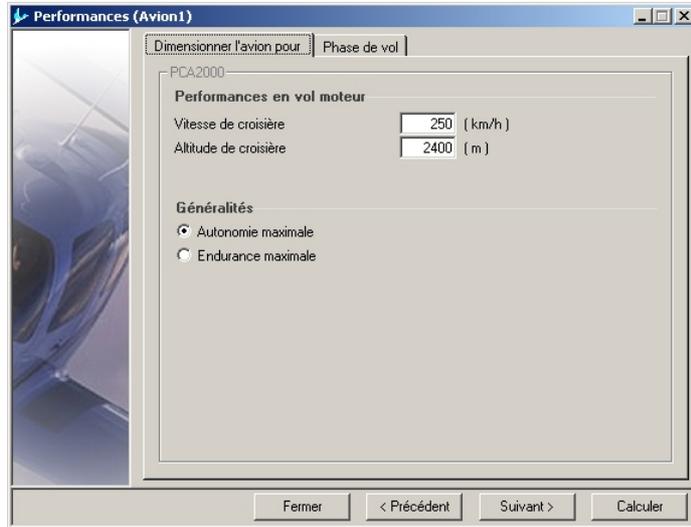


Figure 5.8 : Modélisation de niveau 1 (Hélice)

5.3.2.7 Performances

Performances (Avion1)

Dimensionner l'avion pour | Phase de vol

PCA2000

**Performances en vol moteur**

Vitesse de croisière  (km/h)

Altitude de croisière  (m)

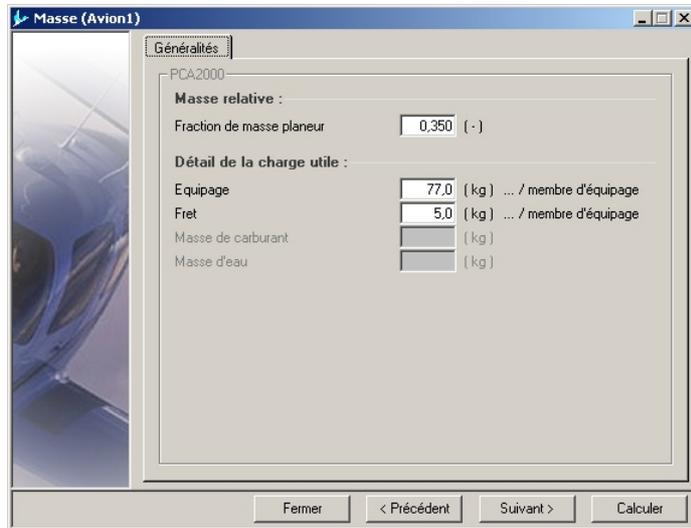
**Généralités**

Autonomie maximale

Endurance maximale

Fermer < Précédent Suivant > Calculer

Figure 5.9 : Modélisation de niveau 1 (Performances)

5.3.2.8 Masses

Masse (Avion1)

Généralités

PCA2000

**Masse relative :**

Fraction de masse planeur  (-)

**Détail de la charge utile :**

Equipage  (kg) ... / membre d'équipage

Fret  (kg) ... / membre d'équipage

Masse de carburant  (kg)

Masse d'eau  (kg)

Fermer < Précédent Suivant > Calculer

Figure 5.10 : Modélisation de niveau 1 (Masses)

### 5.3.2.9 Aérodynamique

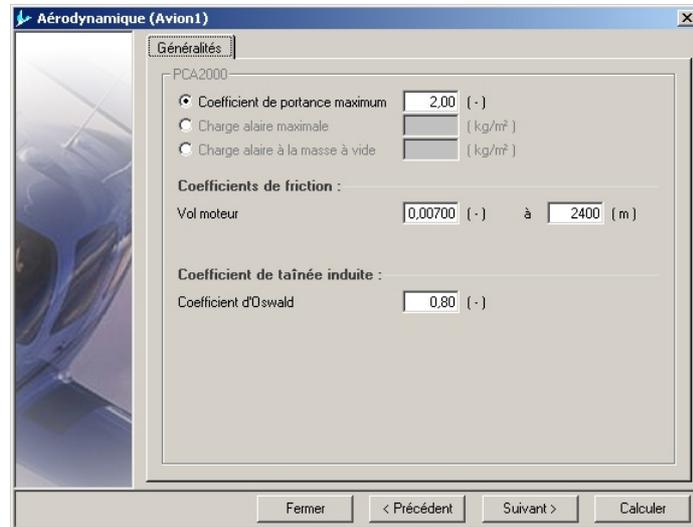


Figure 5.11 : Modélisation de niveau 1 (Aérodynamique)

### 5.3.2.10 Options

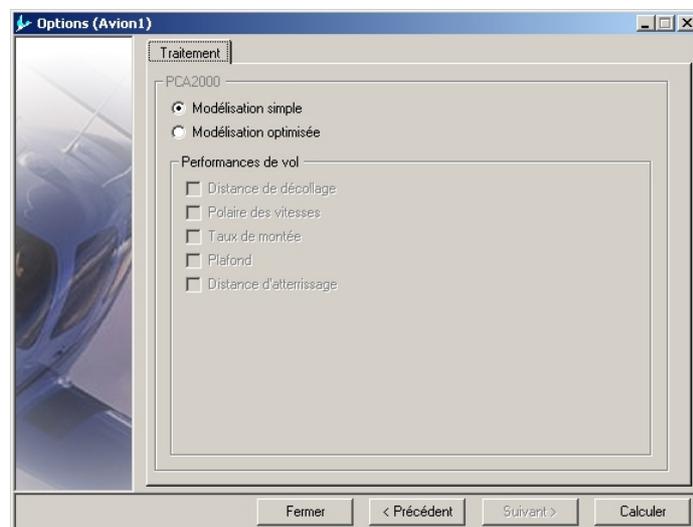


Figure 5.12 : Modélisation de niveau 1 (Options)

Si votre licence vous y autorise, il vous est offert la possibilité d'effectuer une modélisation optimisée. Pour ce faire, nous vous invitons à consulter le chapitre intitulé « Modélisation optimisée » du manuel de l'utilisateur.



Dans la mesure du possible, les données sont contrôlées en cours d'introduction.

Si par exemple l'utilisateur introduit une valeur négative alors que la valeur ne peut être que strictement positive, un message d'avertissement est affiché à l'écran, la cellule est réinitialisée et le curseur y est placé dessus.

### 5.3.3 Calculs

Pour effectuer les calculs, cliquez sur  qui apparaît sur chaque fenêtre d'acquisition de données.

Si des données sont manquantes, un message d'avertissement est affiché à l'écran, ensuite, la fenêtre d'acquisition qui contient la cellule vide est à son tour affichée à l'écran et le curseur est placé sur la cellule vide.



Pour obtenir des informations détaillées au sujet des algorithmes utilisés lors de la modélisation, nous vous invitons à consulter les différentes notes techniques disponibles sur le site Internet de PCA2000.

### 5.3.4 Résultats

#### 5.3.4.1 Introduction

Au terme des calculs, la fenêtre de résultats est automatiquement affichée.

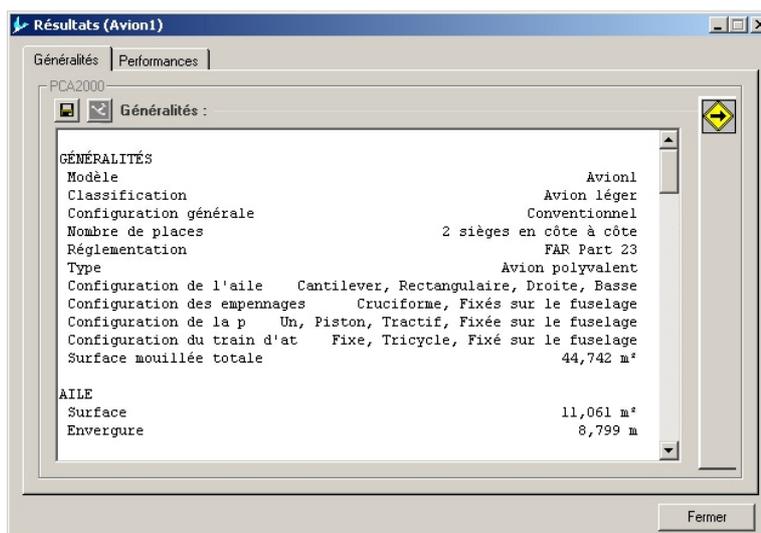


Figure 5.13 : Modélisation de niveau 1 (Résultats)



Le premier volet contient toutes les informations exceptées celles relatives aux performances. Le second volet contient exclusivement les informations relatives aux performances.

**Pour afficher les résultats dans leur ensemble :**

1. **Ouvrez** le tiroir en déplaçant le pointeur de la souris sur celui-ci puis,
2. **Cliquez** sur le bouton à option intitulé Généralités.

Tous les résultats sont à présent affichés sur la même feuille.

**Pour ne visualiser que les résultats qui se rapportent à un poste en particulier :**

1. **Ouvrez** le tiroir puis
2. **Cliquez** sur le bouton à option correspondant.

### 5.3.4.2 Généralités

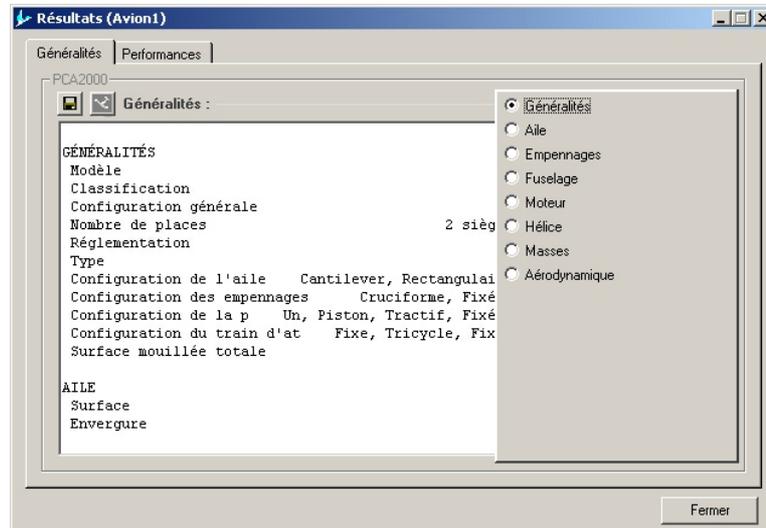


Figure 5.14 : Modélisation de niveau 1 (Généralités)

### 5.3.4.3 Performances

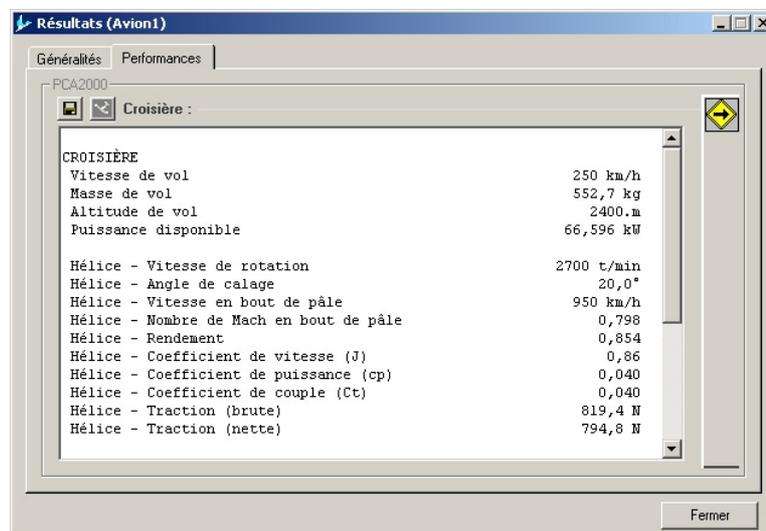


Figure 5.15 : Modélisation de niveau 1 (Performances)

#### 5.3.4.4 Imprimer les résultats

Pour imprimer les résultats de la modélisation, **cliquez** sur le bouton de commande  de la barre d'outil de la fenêtre principale.

#### 5.3.4.5 Enregistrer les résultats

Pour enregistrer les résultats de la modélisation, **cliquez** sur le bouton de commande  de la barre d'outil de la fenêtre principale.

Un message apparaît dans la zone d'affichage des commentaires pour vous informer de l'état de l'enregistrement.

#### 5.3.4.6 Enregistrer le contenu de la zone d'affichage

Pour enregistrer le contenu de la zone d'affichage :

1. **Cliquez** sur un des boutons à option disponibles sur le tiroir
2. **Cliquez** sur le bouton de commande  situé au-dessus de la zone d'affichage des résultats.

Un message apparaît dans la zone d'affichage des commentaires pour vous informer de l'état de l'enregistrement.



Deux fichiers de résultats ont été créés :

1. Le premier est un fichier texte (format .rtf ) que vous pouvez ouvrir dans n'importe quel logiciel de traitement de texte.
2. Le second est un fichier texte (format .csv ) que vous pouvez ouvrir dans n'importe quel tableur comme Excel par exemple.

## 5.4 Modélisation de niveau 2

### 5.4.1 Description

Pour accéder au module « Modélisation » **cliquez** sur [Modélisation], [Avions] puis [Niveau 2] de la barre de menus de la fenêtre principale. Vous pouvez également y accéder directement en cliquant sur  de la barre d'outils verticale.

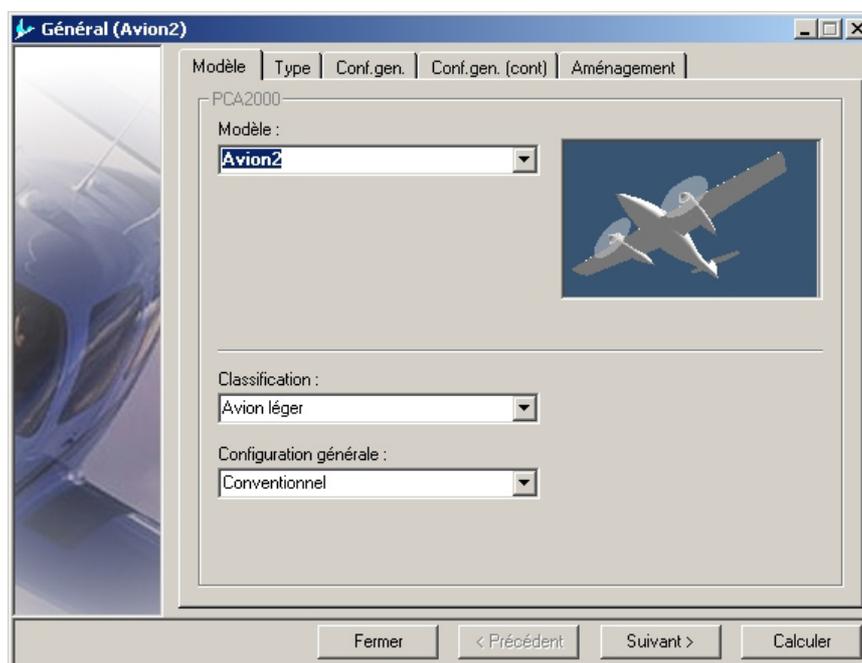


Figure 5.16 : Modélisation de niveau 2 (Général)

Si vous avez choisi d'accéder au module « Modélisation » via le bouton de commande , vous serez peut être amené à préciser le niveau de modélisation souhaité. Ceci se fait via la barre d'état de la fenêtre principale. **Cliquez** à l'endroit indiqué jusqu'à ce que le chiffre affiché soit 2.



Niveau de modélisation

Figure 5.17: Barre d'état de la fenêtre principale

L'acquisition des données d'entrée se fait via 13 fenêtres spécifiques :

1. Généralités
2. Aile
3. Empennage horizontal
4. Empennage vertical
5. Fuselage
6. Atterrisseur
7. Moteur
8. Hélice
9. Systèmes
10. Performances
11. Masses
12. Aérodynamique
13. Options

Chaque fenêtre contient un ensemble de champs que l'utilisateur doit obligatoirement compléter pour pouvoir effectuer la modélisation. Les **champs grisés** sont inaccessibles et réservés à une modélisation d'un niveau différent de celui en cours.



Pressez à tout instant sur la touche **F1** pour accéder à l'aide contextuelle.



Pour naviguer entre les contrôles d'une fenêtre, utilisez la **touche de tabulation**.



Pour naviguer entre les fenêtres, utilisez les touches  ou  ou le menu de la barre d'outils verticale.



## 5.4.2 Remarques

### 5.4.2.1 Détermination du coefficient de portance maximum d'une surface portante

La détermination de l'accroissement du coefficient de portance maximum d'une surface portante se fait selon la méthodologie décrite par Dr. Jan Roskam dans son ouvrage *Airplane Design Part VI*, pour volets simples, split, à simple fente, à double fente et Fowler.

### 5.4.2.2 Le coefficient de traînée propre (Cd0)

Le coefficient de traînée propre est calculé par rapport à la surface en plan de l'aile.

### 5.4.2.3 Type d'hélice

Lors d'une modélisation de niveau 2, les caractéristiques de l'hélice sont déterminées uniquement pour des hélices à pas fixe ou à vitesse constante mais non pour des hélices à pas variable. Ceci pour la simple raison qu'il est impossible de connaître avant d'effectuer la modélisation les valeurs extrêmes du pas de l'hélice. Si l'utilisateur souhaite envisager l'installation d'une hélice à pas variable, il doit procéder de la façon suivante :

1. **Exécuter** une modélisation en adoptant une hélice à vitesse constante
2. **Noter** les valeurs extrêmes du pas de l'hélice
3. **Exécuter** une modélisation en adoptant une hélice à pas fixe et en choisissant un pas d'hélice proche du petit pas pour explorer les performances de l'appareil au décollage, puis une autre valeur de pas pour la montée et la croisière.

### 5.4.3 Données d'entrées

#### 5.4.3.1 Généralités

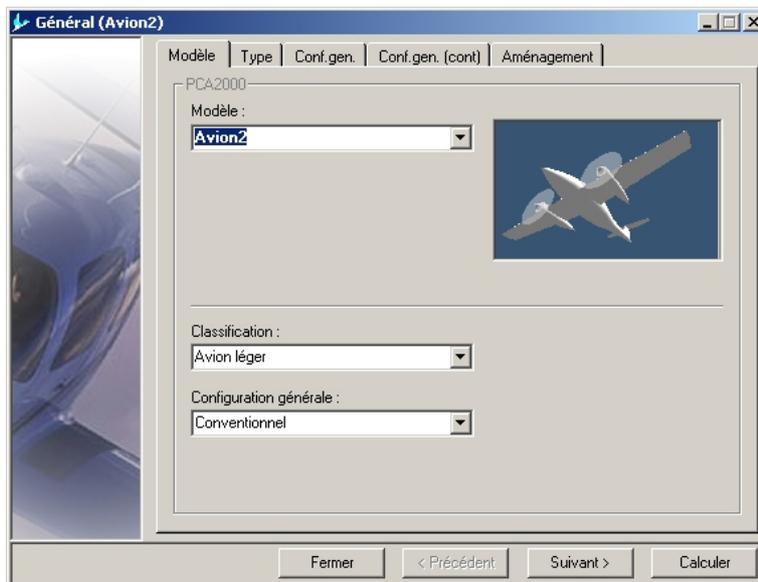


Figure 5.18 : Modélisation de niveau 2 (Général)

#### 5.4.3.2 Aile

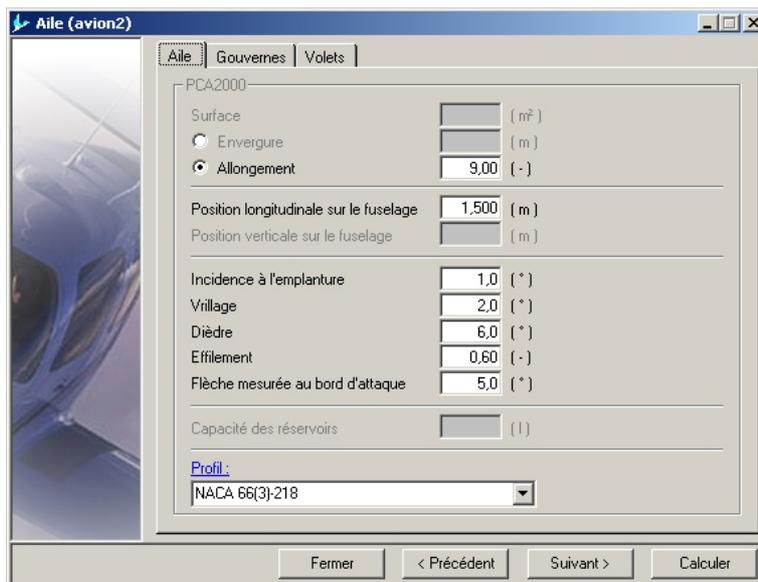
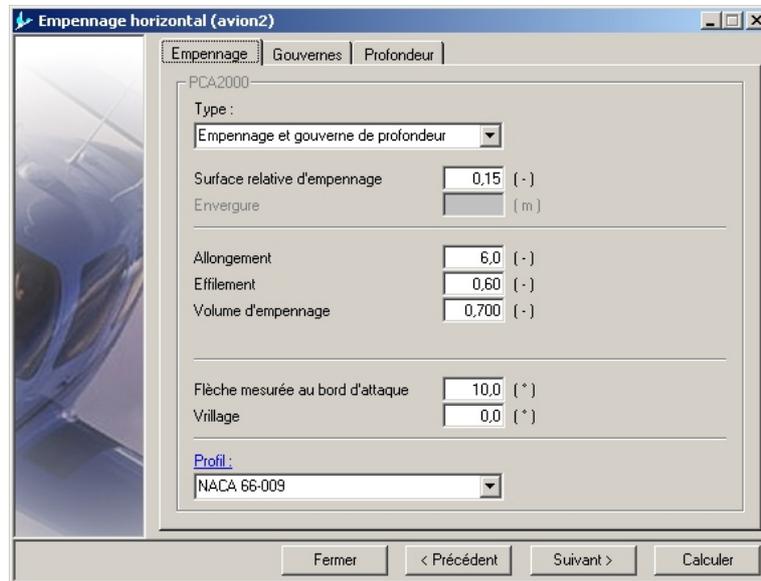


Figure 5.19 : Modélisation de niveau 2 (Aile)

### 5.4.3.3 Empennage horizontal



Empennage horizontal (avion2)

Empennage | Gouvernes | Profondeur

PCA2000

Type :  
Empennage et gouverne de profondeur

Surface relative d'empennage 0,15 (-)  
Envergure (m)

Allongement 6,0 (-)  
Effilement 0,60 (-)  
Volume d'empennage 0,700 (-)

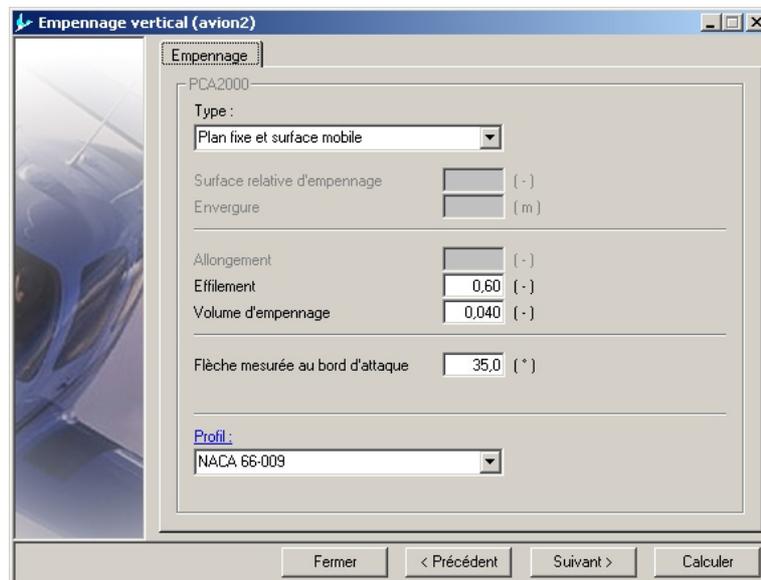
Flèche mesurée au bord d'attaque 10,0 (\*)  
Vrillage 0,0 (\*)

Profil :  
NACA 66-009

Fermer < Précédent Suivant > Calculer

Figure 5.20 : Modélisation de niveau 2 (Empennage horizontal)

### 5.4.3.4 Empennage vertical



Empennage vertical (avion2)

Empennage | Gouvernes | Profondeur

PCA2000

Type :  
Plan fixe et surface mobile

Surface relative d'empennage (-)  
Envergure (m)

Allongement (-)  
Effilement 0,60 (-)  
Volume d'empennage 0,040 (-)

Flèche mesurée au bord d'attaque 35,0 (\*)

Profil :  
NACA 66-009

Fermer < Précédent Suivant > Calculer

Figure 5.21 : Modélisation de niveau 2 (Empennage vertical)

## 5.4.3.5 Fuselage

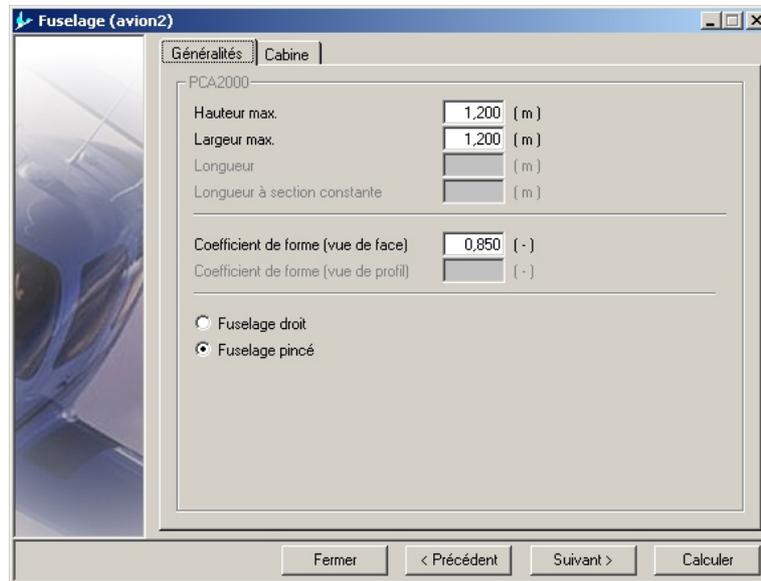


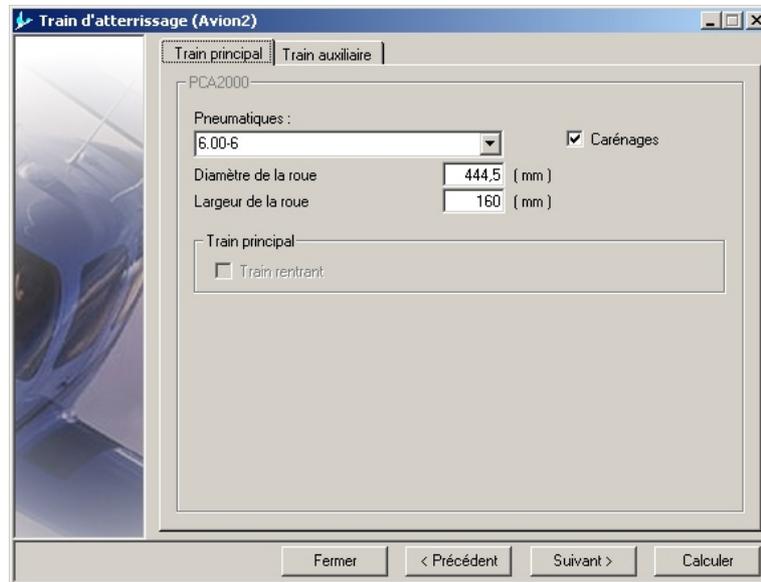
Figure 5.22 : Modélisation de niveau 2 (Fuselage)

La **longueur** du fuselage est calculée en fonction :

- Des positions des empennages et donc des critères de stabilité
- De la dimension du fuselage au maître couple afin de minimiser la traînée propre du fuselage

La **surface mouillée** du fuselage est calculée sur base de la géométrie générée.

Le **coefficient de forme longitudinal** est déduit de la surface mouillée calculée et de la longueur totale du fuselage.

5.4.3.6 Train d'atterrissage**Figure 5.23 : Modélisation de niveau 2 (Train d'atterrissage)**

L'utilisateur choisit les pneumatiques dans un catalogue de pneumatiques. Ce simple choix entraîne la connaissance immédiate des dimensions des roues. Critère important pour déterminer la traînée occasionnée par les différents composants du train d'atterrissage. Si le pneumatique ne figure pas dans la liste proposée, l'utilisateur choisit NA (non disponible) et introduit lui-même les dimensions de la roue dans les cases appropriées.

## 5.4.3.7 Moteur

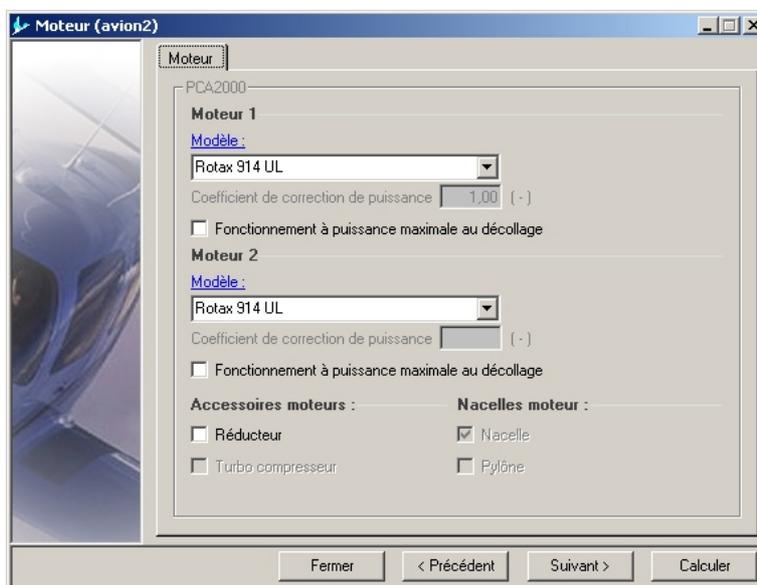


Figure 5.24 : Modélisation de niveau 2 (Moteur)

L'utilisateur choisit le moteur qu'il envisage d'utiliser dans une liste de moteurs. Ce simple choix entraîne la connaissance immédiate de toutes les caractéristiques du moteur y compris ses courbes de puissance et de consommation spécifique.

**ATTENTION**

Si le moteur est équipé d'un réducteur, comme c'est le cas du **Rotax 912** par exemple, les caractéristiques du réducteur auront été spécifiées dans le fichier de données du moteur (cf. chapitre 8 du manuel de l'utilisateur).

Au niveau de la modélisation de niveau 2, l'utilisateur a la possibilité de donner les caractéristiques d'un réducteur qui serait ajouté à un moteur qui n'en est pas pourvu d'origine. On pourrait envisager par exemple pour une application spécifique d'équiper un avion d'un moteur **Lycoming O-320-B1B** et d'ajouter un réducteur au rapport de 1/1.245. Les caractéristiques de ce réducteur « externe » devront être précisées au niveau de la page **Moteur** de la modélisation de niveau 2.

## 5.4.3.8 L'hélice

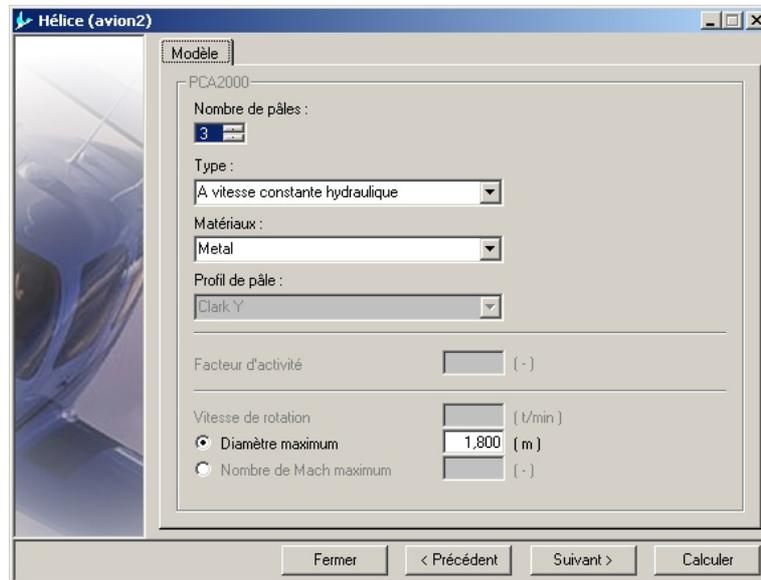


Figure 5.25 : Modélisation de niveau 2 (Hélice)

L'utilisateur choisit le type d'hélice qu'il désire utiliser,

- soit une hélice à vitesse constante,
- soit une hélice à pas fixe.

Le choix du type d'hélice aura une influence considérable sur les performances au décollage et en montée ainsi que sur le devis de masse de l'appareil.

Une hélice à vitesse constante permet d'exploiter la puissance du moteur de façon optimale mais est plus lourde qu'une simple hélice à pas fixe.

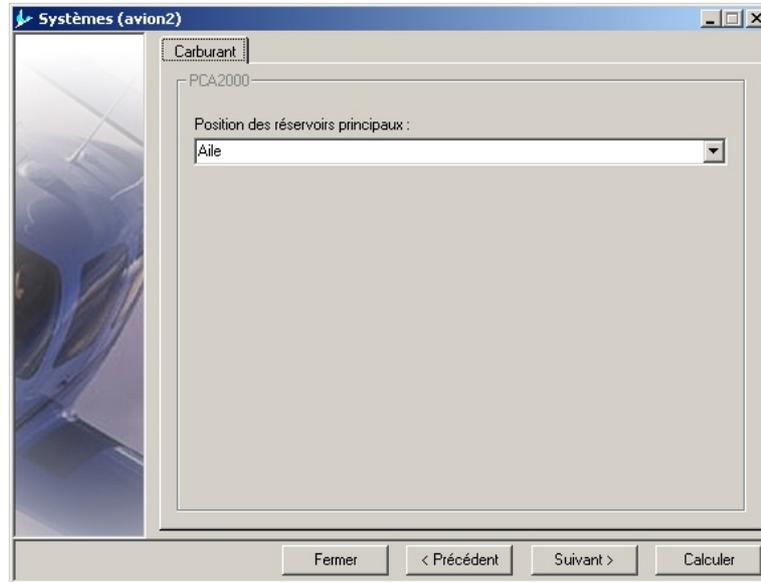
5.4.3.9 Systèmes

Figure 5.26 : Modélisation de niveau 2 (Systèmes)

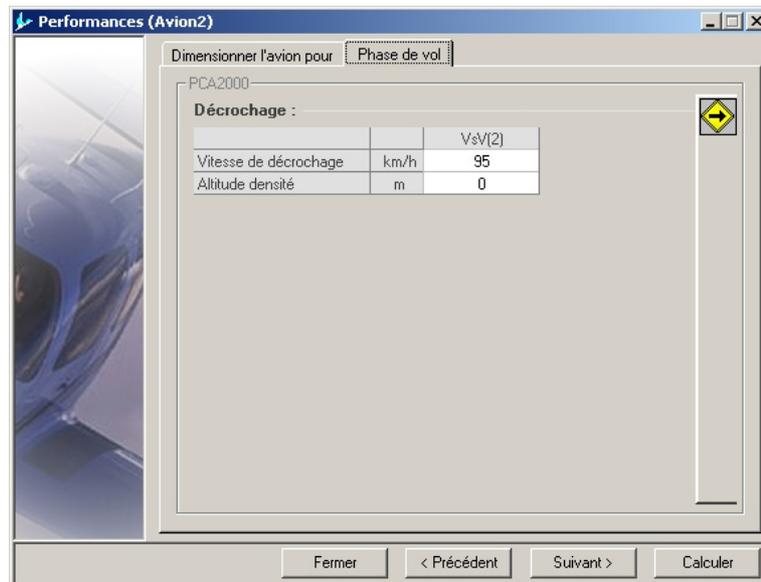
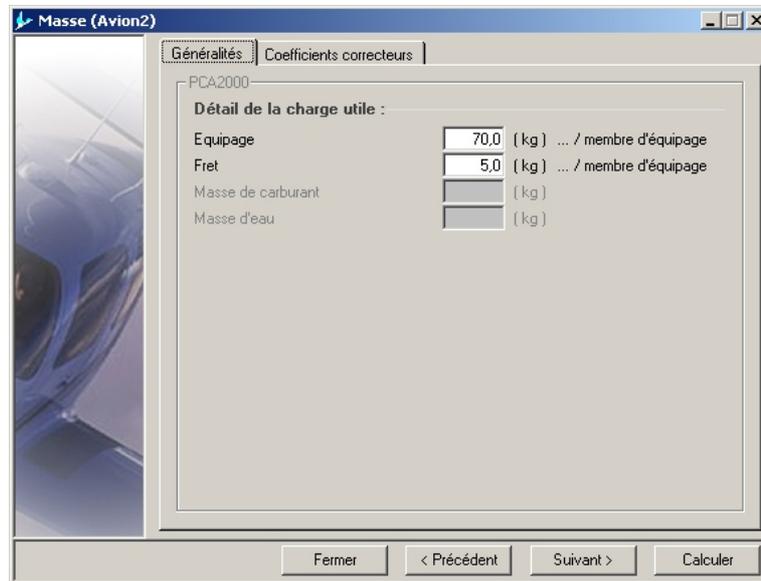
5.4.3.10 Performances

Figure 5.27 : Modélisation de niveau 2 (Performances)

5.4.3.11 Masses**Figure 5.28 : Modélisation de niveau 2 (Masses)**

La masse à vide de l'appareil est calculée en faisant la somme des masses spécifiques des différents composants de l'avion. La masse d'un composant est calculée sur base de ses dimensions géométriques ainsi que sur la masse maximale au décollage de l'appareil.



Pour obtenir des informations détaillées au sujet des algorithmes utilisés lors de la modélisation, nous vous invitons à consulter les différentes notes techniques disponibles sur le site Internet de PCA2000.

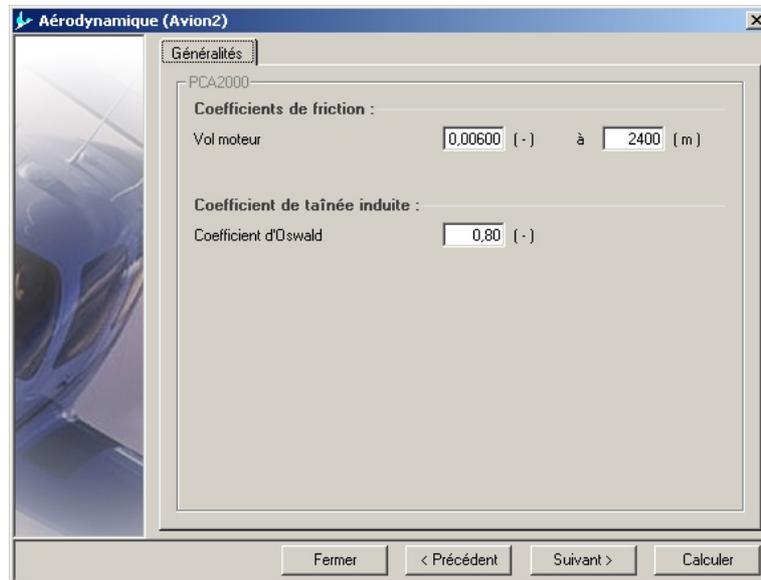
5.4.3.12 Aérodynamique

Figure 5.29 : Modélisation de niveau 2 (Aérodynamique)

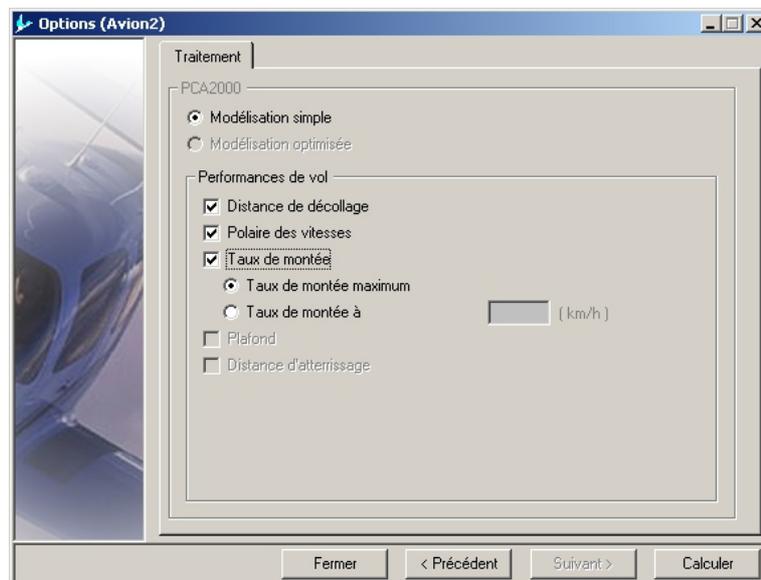
5.4.3.13 Options

Figure 5.30 : Modélisation de niveau 2 (Options)



Dans la mesure du possible, les données sont contrôlées en cours d'introduction.

Si par exemple l'utilisateur introduit une valeur négative alors que la valeur ne peut être que strictement positive, un message d'avertissement est affiché à l'écran, la cellule est réinitialisée et le curseur y est placé dessus.

#### 5.4.4 Calculs

Pour effectuer les calculs, cliquez sur  qui apparaît sur chaque fenêtre d'acquisition de données.

Si des données sont manquantes, un message d'avertissement est affiché à l'écran, ensuite, la fenêtre d'acquisition qui contient la cellule vide est à son tour affichée à l'écran et le curseur est placé sur la cellule vide.



Pour obtenir des informations détaillées au sujet des algorithmes utilisés lors de la modélisation, nous vous invitons à consulter les différentes notes techniques disponibles sur le site Internet de PCA2000.

## 5.4.5 Résultats

### 5.4.5.1 Introduction

Au terme des calculs, la fenêtre de résultats est automatiquement affichée.

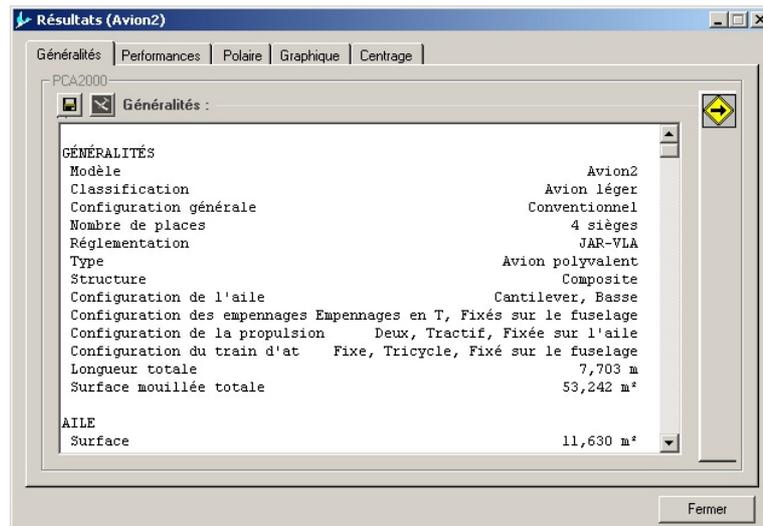


Figure 5.31 : Modélisation de niveau 2 (Généralités)



Le premier volet contient toutes les informations exceptées celles relatives aux performances. Le second volet contient exclusivement les informations relatives aux performances.

#### Pour afficher les résultats dans leur ensemble :

1. **Ouvrez** le tiroir en déplaçant le pointeur de la souris sur celui-ci puis,
2. **Cliquez** sur le bouton à option intitulé Généralités.

Tous les résultats sont à présent affichés sur la même feuille.

#### Pour ne visualiser que les résultats qui se rapportent à un poste en particulier :

1. **Ouvrez** le tiroir puis
2. **Cliquez** sur le bouton à option correspondant.

### 5.4.5.2 Généralités

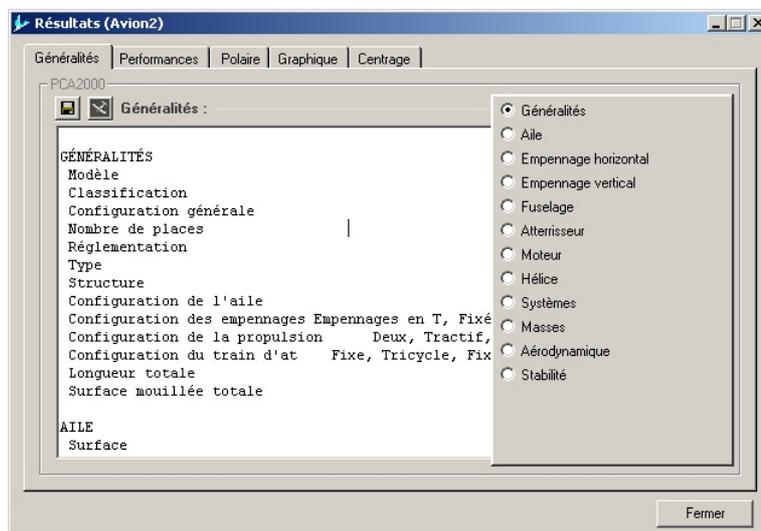


Figure 5.32 : Modélisation de niveau 2 (Affichage sélectif)

### 5.4.5.3 Performances

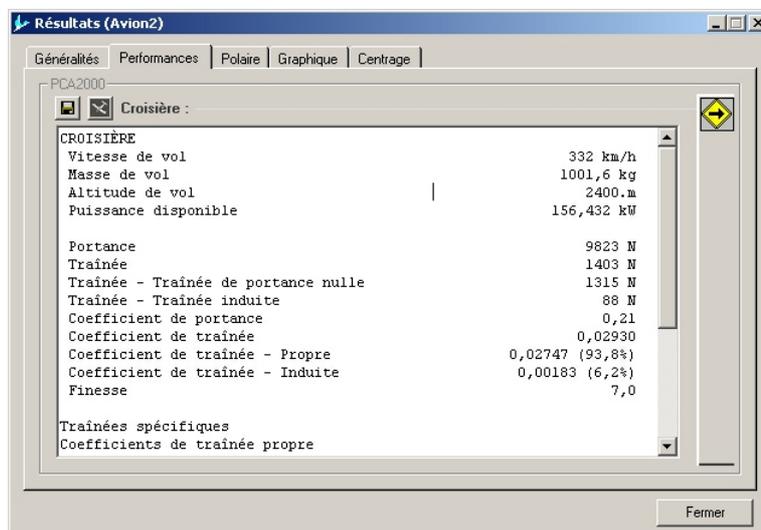


Figure 5.33 : Modélisation de niveau 2 (Performances)

Pour enregistrer le contenu de la zone d'affichage (onglets **Généralités** et **Performances**) :

1. **Cliquez** sur un des boutons à option disponibles sur le tiroir
2. **Cliquez** sur le bouton de commande  situé au-dessus de la zone d'affichage des résultats.

Un message apparaît dans la zone d'affichage des commentaires pour vous informer de l'état de l'enregistrement.



Deux fichiers de résultats ont été créés :

1. Le premier est un fichier texte (format .rtf ) que vous pouvez ouvrir dans n'importe quel logiciel de traitement de texte.
2. Le second est un fichier texte (format .csv ) que vous pouvez ouvrir dans n'importe quel tableur comme Excel par exemple.

#### 5.4.5.4 Modèle 3D

Si votre licence vous y autorise, vous pouvez accéder directement au **Module 3D** et visualiser un modèle numérique 3D en tout point conforme aux résultats de la modélisation.

L'accès au module 3D se fait en cliquant sur  situé dans le coin supérieur gauche de la fenêtre de résultats.

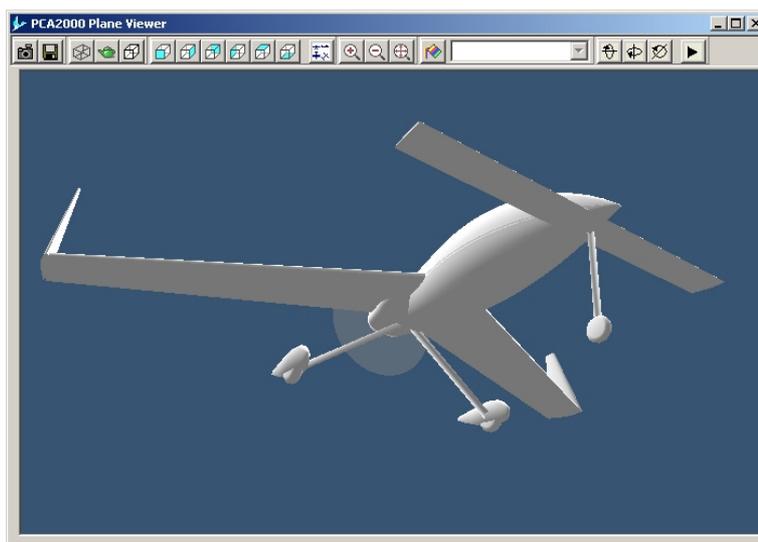


Figure 5.34 : Modélisation de niveau 2 (Modèle numérique 3D)

Pour obtenir toutes les informations utiles au sujet du module 3D, nous vous prions de consulter le chapitre intitulé Module 3D du manuel de l'utilisateur.

5.4.5.5 Polaire des vitesses

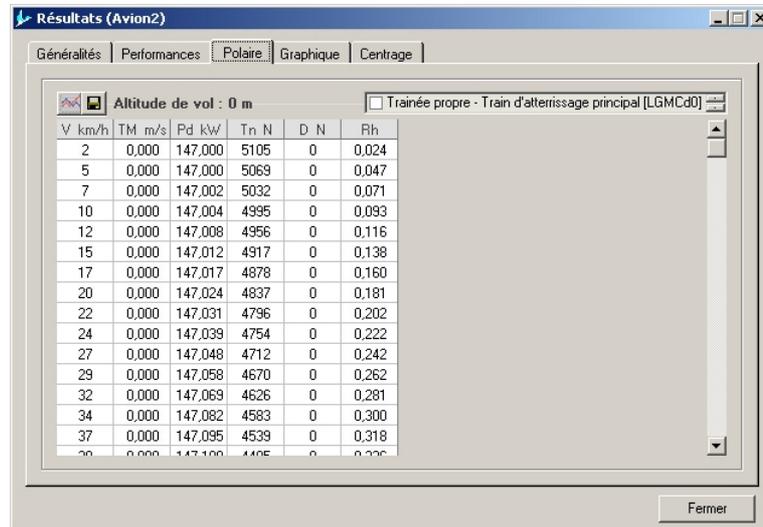


Figure 5.35 : Modélisation de niveau 2 (Polaire des vitesses)

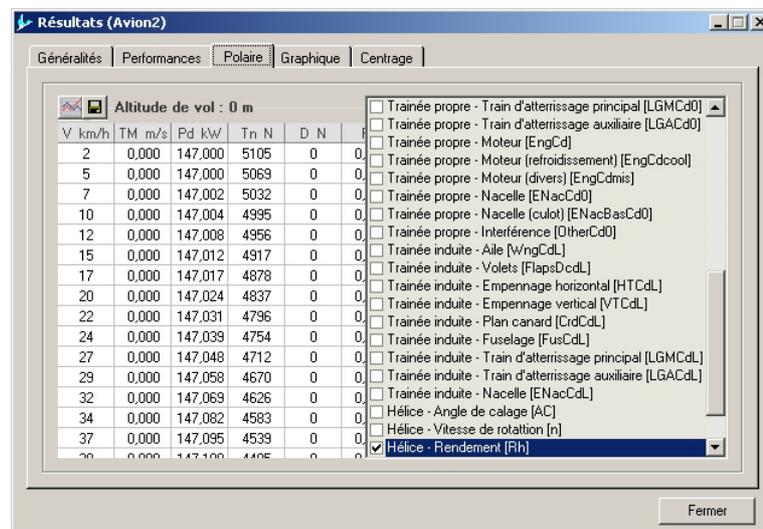


Figure 5.36 : Modélisation de niveau 2 (Affichage sélectif)

La polaire des vitesses est déterminée au niveau de la mer en atmosphère standard (0m, 15°C).

Pour chaque vitesse allant de 0 km/h à la vitesse maximale de vol sont donnés :

- Performances (taux, pente et angle de montée)
- Puissance disponible
- Traction de l'hélice
- Traînées (propre et induite)
- Coefficients de traînée (total, propre, induite et spécifiques)
- Rendement de l'hélice
- Angle de calage de l'hélice
- Coefficients caractéristiques de l'hélice (vitesse, puissance et couple)

**Cliquez** sur  pour enregistrer le contenu du tableau dans un fichier au format .csv que vous pouvez ouvrir dans n'importe quel tableur comme Excel par exemple.

Un message apparaît dans la zone d'affichage des commentaires pour vous informer de l'état de l'enregistrement.



Le fichier .csv est enregistré dans le répertoire du jeu de données

Le nom du fichier .csv est défini SP- + numéro qui correspond à la date et heure d'enregistrement (par exemple SP-2005220933.csv).

Pour visualiser sur un graphique les informations contenues dans le tableau, **cliquez** directement sur l'onglet [**Graphique**] ou alors **cliquez** sur le bouton  placé au-dessus du tableau à gauche.

5.4.5.6 Mise en graphique des résultats

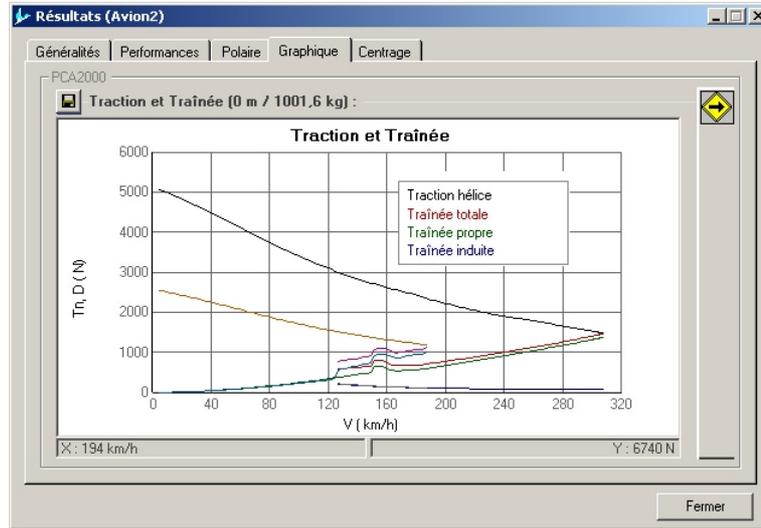


Figure 5.37 : Modélisation de niveau 2 (Courbes de performances)

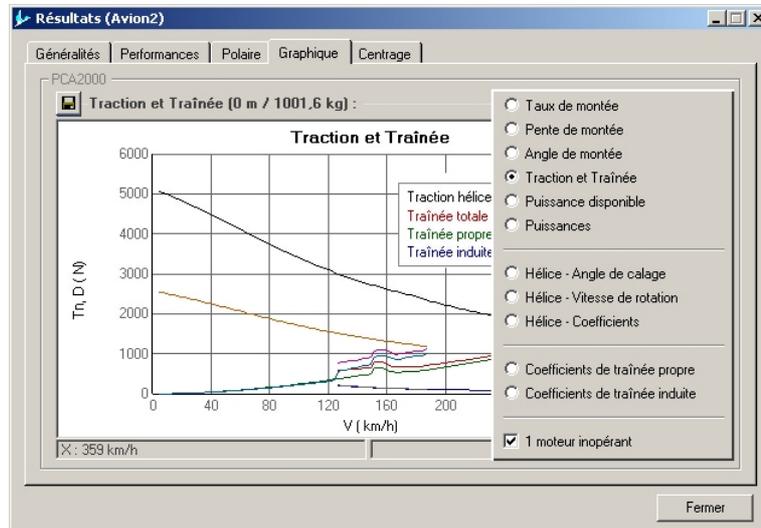


Figure 5.38 : Modélisation de niveau 2 (Affichage sélectif)

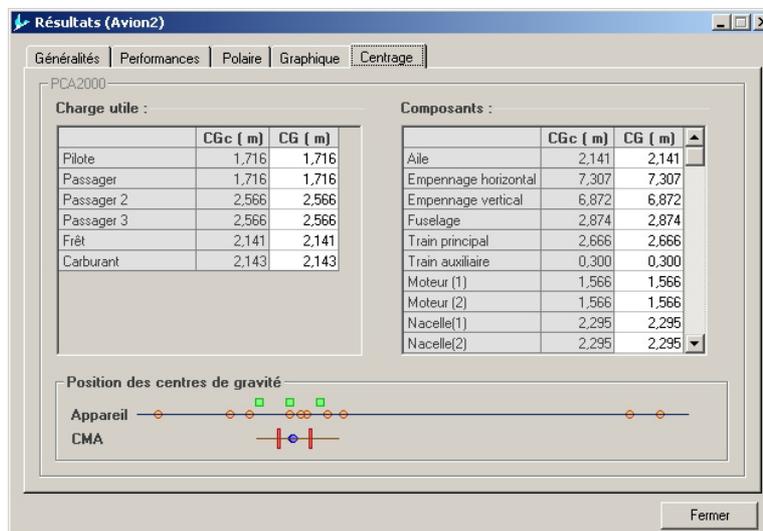
5.4.5.7 Centrage


Figure 5.39 : Modélisation de niveau 2 (Centrage)

La position des centres de gravités spécifiques ainsi que la position du centre de gravité de l'avion sont automatiquement calculées. La position de référence étant la pointe extrême avant de l'appareil.

Le tableau de gauche présente le détail de la charge utile. Le tableau de droite présente le détail des composants de l'avion (aile, empennages, ...).

Pour chaque tableau, la deuxième colonne à partir de la droite (fond gris) contient les valeurs qui ont été automatiquement calculées par le logiciel. Tandis que la première colonne à partir de la droite (fond blanc) contient les valeurs qui seront adoptées par l'utilisateur. Par défaut, ces valeurs sont identiques à celles calculées.

Une représentation graphique est affichée au bas de la fenêtre. Les centres de gravité spécifiques sont représentés par des ronds de couleur orange et sont positionnés sur une ligne dont la longueur est égale à la longueur hors tout de l'appareil. La masse utile est représentée par des carrés de couleur verte.

La position du centre de gravité de l'avion est représentée par des ronds de couleur bleue et sont positionnés sur une ligne dont la longueur est égale à la longueur de la corde moyenne aérodynamique de l'aile (CMA). La position du centre de gravité de l'avion a été calculée pour 2 cas de charge extrêmes à savoir celui qui correspond à la masse maximale de vol ainsi que celui qui correspond à la masse minimale de vol.

2 traits verticaux rouge représentent les limites extrêmes avant et arrière du centre de gravité pour assurer respectivement une bonne pilotabilité et une bonne stabilité. Quel que soit le cas de charge, le centre de gravité de l'avion doit se trouver à l'intérieur de ces limites.

Lorsque le pointeur de la souris est déplacé sur le graphique, les coordonnées locales sont affichées ainsi que la référence de l'élément sélectionné.



Pour enregistrer une image du graphique **cliquez** sur le bouton de commande  situé au-dessus du graphique.

Un message apparaît dans la zone d'affichage des commentaires pour vous informer de l'état de l'enregistrement.



Deux fichiers images ont été créés :

1. Le premier au format .bmp
2. Le second au format .jpg

Les différents résultats qui peuvent être affichés sous forme de graphique sont :

- Les performances
- Taux de montée
- Pente de montée
- Angle de montée
- Traction et traînée
- Puissance disponible
- Puissances
- Les paramètres caractéristiques de l'hélice
- Angle de calage
- Vitesse de rotation
- Coefficients caractéristiques
- Les coefficients de traînée spécifiques
- Coefficients de traînée propre
- Coefficients de traînée induite



#### 5.4.5.8 Imprimer les résultats

Pour imprimer les résultats de la modélisation, **cliquez** sur le bouton de commande  de la barre d'outil de la fenêtre principale.

#### 5.4.5.9 Enregistrer les résultats

Pour enregistrer les résultats de la modélisation, **cliquez** sur le bouton de commande  de la barre d'outil de la fenêtre principale.

Un message apparaît dans la zone d'affichage des commentaires pour vous informer de l'état de l'enregistrement.

## 5.5 Modélisation de niveau 3

### 5.5.1 Description

Pour accéder au module « Modélisation », cliquez sur [Modélisation], [Avions] puis [Niveau 3] de la barre de menus de la fenêtre principale. Vous pouvez également y accéder directement en cliquant sur  de la barre d'outils verticale.

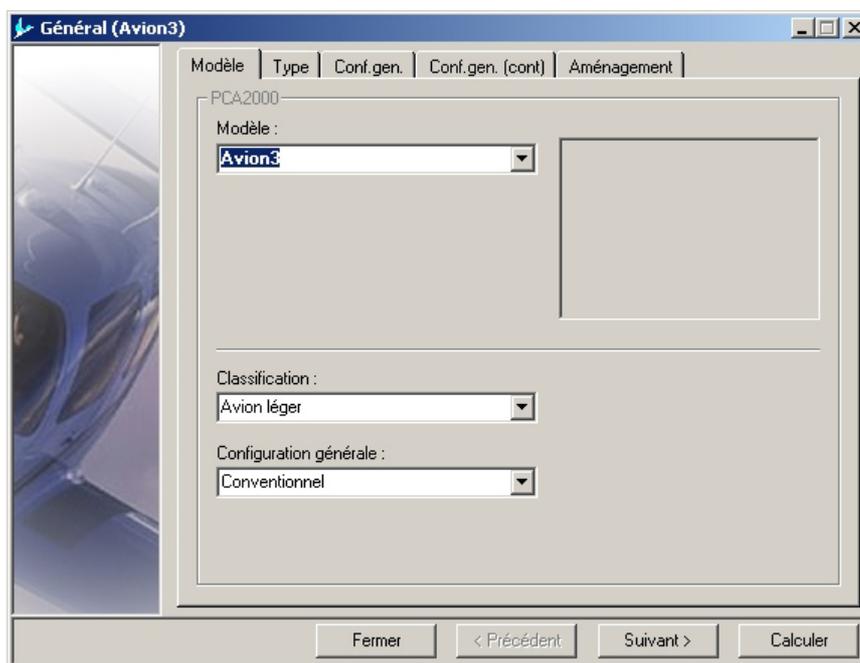


Figure 5.40 : Modélisation de niveau 3 (Général)

Si vous avez choisi d'accéder au module « Modélisation » via le bouton de commande , vous serez peut être amené à préciser le niveau de modélisation souhaité. Ceci se fait via la barre d'état de la fenêtre principale. Cliquez à l'endroit indiqué jusqu'à ce que le chiffre affiché soit 3.



Niveau de modélisation

Figure 5.41 : Barre d'état de la fenêtre principale

L'acquisition des données d'entrée se fait via 13 fenêtres spécifiques :

1. Généralités
2. Aile
3. Empennage horizontal
4. Empennage vertical
5. Fuselage
6. Atterrisseur
7. Moteur
8. Hélice
9. Systèmes
10. Performances
11. Masses
12. Aérodynamique
13. Options

Chaque fenêtre contient un ensemble de champs que l'utilisateur doit obligatoirement compléter pour pouvoir effectuer la modélisation. Les **champs grisés** sont inaccessibles et réservés à une modélisation d'un niveau différent de celui en cours.



Pressez à tout instant sur la touche **F1** pour accéder à l'aide contextuelle.



Pour naviguer entre les contrôles d'une fenêtre, utilisez la **touche de tabulation**.



Pour naviguer entre les fenêtres, utilisez les touches  ou  ou le menu de la barre d'outils verticale.



## 5.5.2 Remarques

### 5.5.2.1 Détermination du coefficient de portance maximum d'une surface portante

La détermination de l'accroissement du coefficient de portance maximum d'une surface portante se fait selon la méthodologie décrite par Dr. Jan Roskam dans son ouvrage Airplane Design Part VI, pour volets simples, split, à simple fente, à double fente et Fowler.

### 5.5.2.2 Le coefficient de traînée propre (Cd0)

Le coefficient de traînée propre est calculé par rapport à la surface en plan de l'aile.

### 5.5.2.3 Type d'hélice

Lors d'une modélisation de niveau 3, les caractéristiques de l'hélice sont déterminées pour des hélices à pas fixe, à pas variable ou à vitesse constante

### 5.5.3 Données d'entrées

#### 5.5.3.1 Généralités

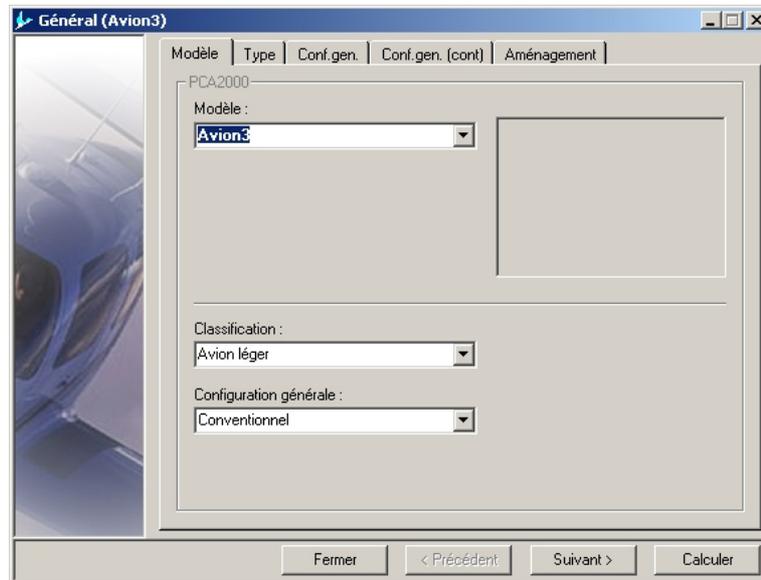


Figure 5.42 : Modélisation de niveau 3 (Général)

#### 5.5.3.2 Aile

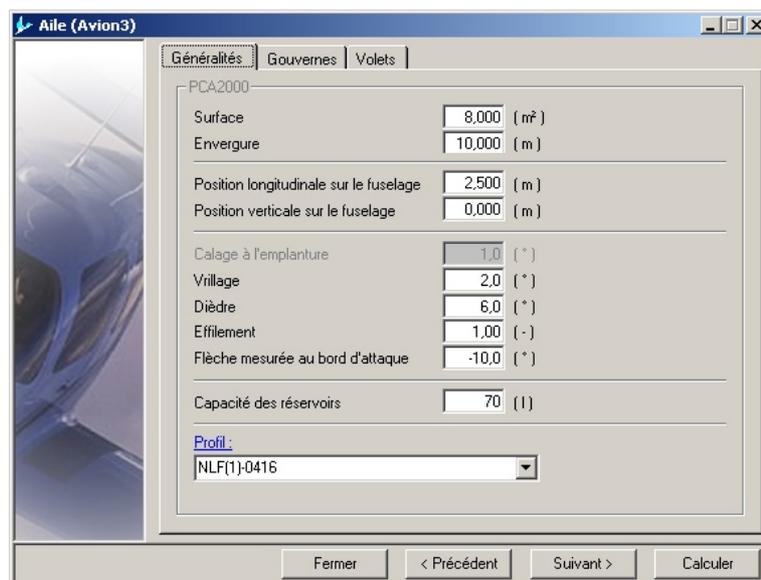


Figure 5.43 : Modélisation de niveau 3 (Aile)

### 5.5.3.3 Empennage horizontal

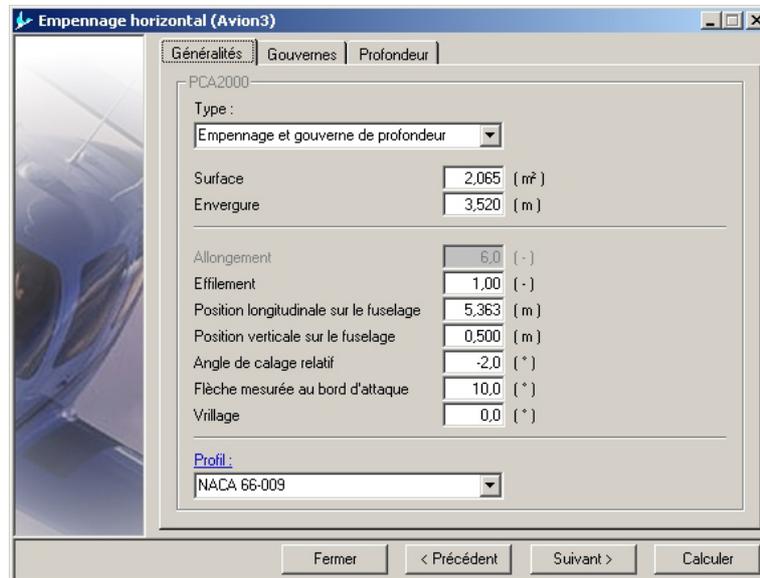


Figure 5.44 : Modélisation de niveau 3 (Empennage horizontal)

### 5.5.3.4 Empennage vertical

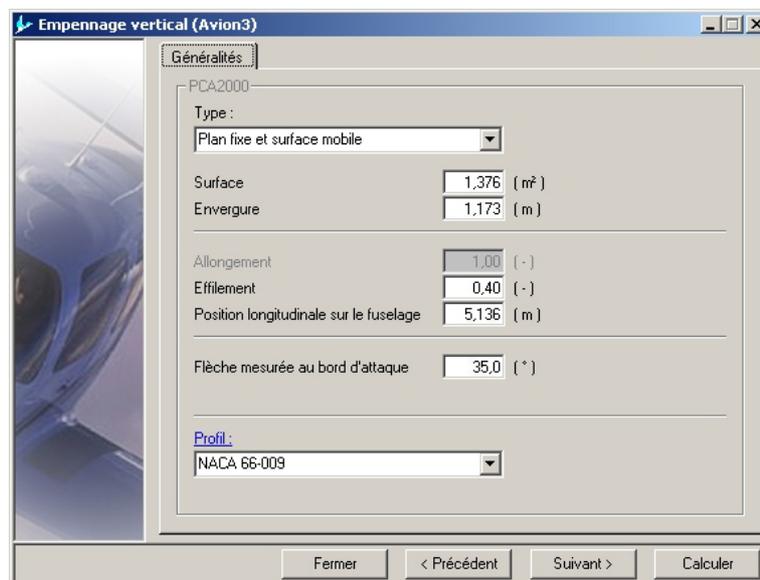
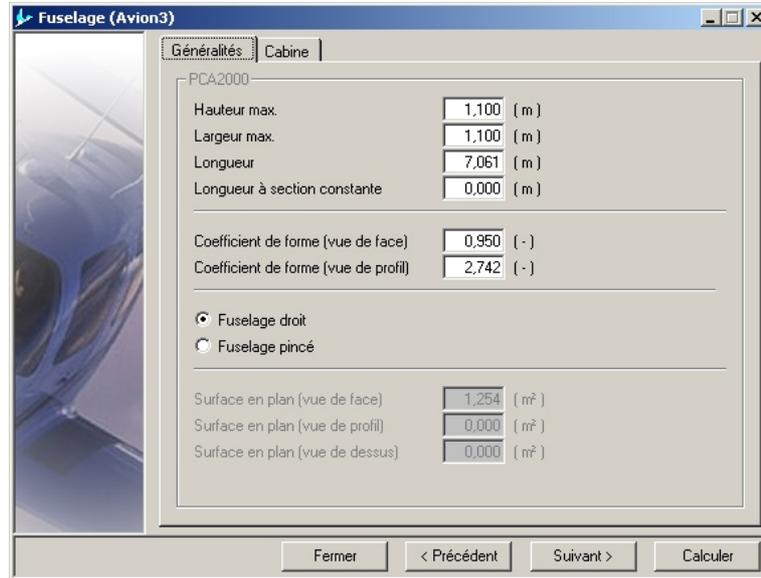


Figure 5.45 : Modélisation de niveau 3 (Empennage vertical)

## 5.5.3.5 Fuselage

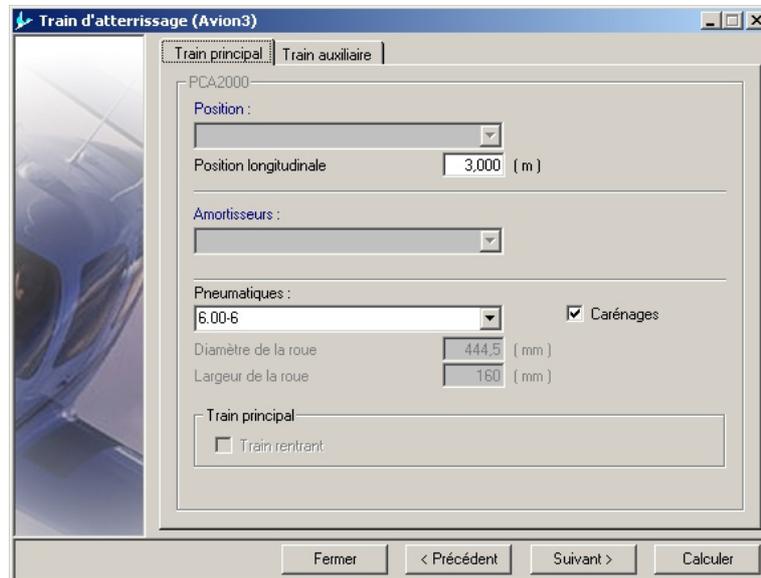


The screenshot shows a software window titled "Fuselage (Avion3)" with two tabs: "Généralités" (selected) and "Cabine". The window contains a form for defining fuselage parameters. The parameters are as follows:

Paramètre	Valeur	Unité
Hauteur max.	1,100	( m )
Largeur max.	1,100	( m )
Longueur	7,061	( m )
Longueur à section constante	0,000	( m )
<hr/>		
Coefficient de forme (vue de face)	0,950	( - )
Coefficient de forme (vue de profil)	2,742	( - )
<hr/>		
<input checked="" type="radio"/> Fuselage droit		
<input type="radio"/> Fuselage pincé		
<hr/>		
Surface en plan (vue de face)	1,254	( m <sup>2</sup> )
Surface en plan (vue de profil)	0,000	( m <sup>2</sup> )
Surface en plan (vue de dessus)	0,000	( m <sup>2</sup> )

At the bottom of the window, there are four buttons: "Fermer", "< Précédent", "Suivant >", and "Calculer".

Figure 5.46 : Modélisation de niveau 3 (Fuselage)

5.5.3.6 Train d'atterrissage**Figure 5.47 : Modélisation de niveau 3 (Train d'atterrissage)**

L'utilisateur choisit les pneumatiques dans un catalogue de pneumatiques. Ce simple choix entraîne la connaissance immédiate des dimensions des roues. Critère important pour déterminer la traînée occasionnée par les différents composants du train d'atterrissage. Si le pneumatique ne figure pas dans la liste proposée, l'utilisateur choisit NA (non disponible) et introduit lui-même les dimensions de la roue dans les cases appropriées.

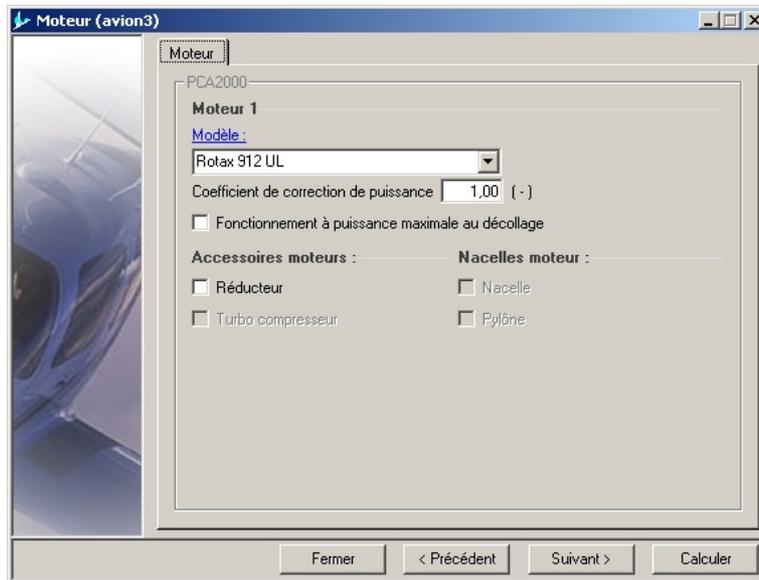
5.5.3.7 Moteur

Figure 5.48 : Modélisation de niveau 3 (Moteur)

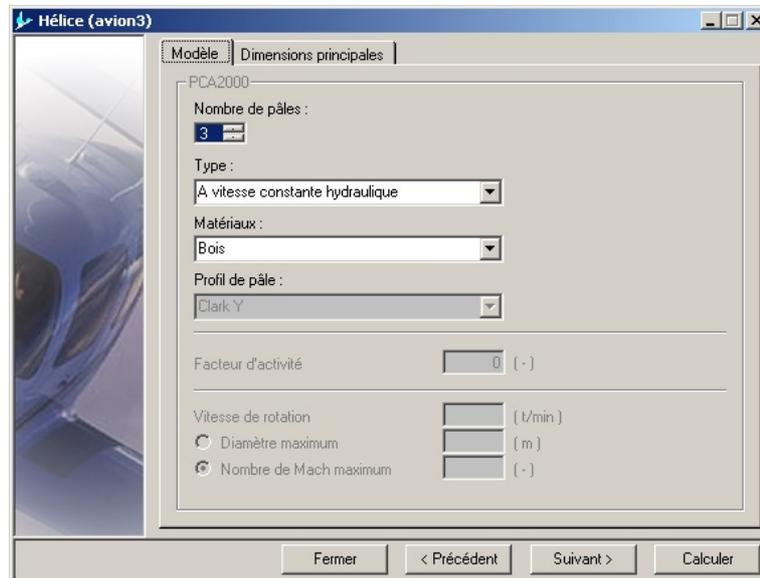
L'utilisateur choisit le moteur qu'il envisage d'utiliser dans une liste de moteurs. Ce simple choix entraîne la connaissance immédiate de toutes les caractéristiques du moteur y compris ses courbes de puissance et de consommation spécifique.

**ATTENTION**

Si le moteur est équipé d'un réducteur, comme c'est le cas du **Rotax 912** par exemple, les caractéristiques du réducteur auront été spécifiées dans le fichier de données du moteur (cf. chapitre 8 du manuel de l'utilisateur).

Au niveau de la modélisation de niveau 3, l'utilisateur a la possibilité de donner les caractéristiques d'un réducteur qui serait ajouté à un moteur qui n'en est pas pourvu d'origine. On pourrait envisager par exemple pour une application spécifique d'équiper un avion d'un moteur **Lycoming O-320-B1B** et d'ajouter un réducteur au rapport de 1/1.245. Les caractéristiques de ce réducteur « externe » devront être précisées au niveau de la page **Moteur** de la modélisation de niveau 3.

## 5.5.3.8 L'hélice

**Figure 5.49 : Modélisation de niveau 3 (Hélice)**

L'utilisateur choisit le type d'hélice qu'il désire utiliser,

- soit une hélice à vitesse constante,
- soit une hélice à pas fixe,
- soit une hélice à pas variable.

Le choix du type d'hélice aura une influence considérable sur les performances au décollage et en montée ainsi que sur le devis de masse de l'appareil.

Une hélice à vitesse constante permet d'exploiter la puissance du moteur de façon optimale mais est plus lourde qu'une simple hélice à pas fixe.

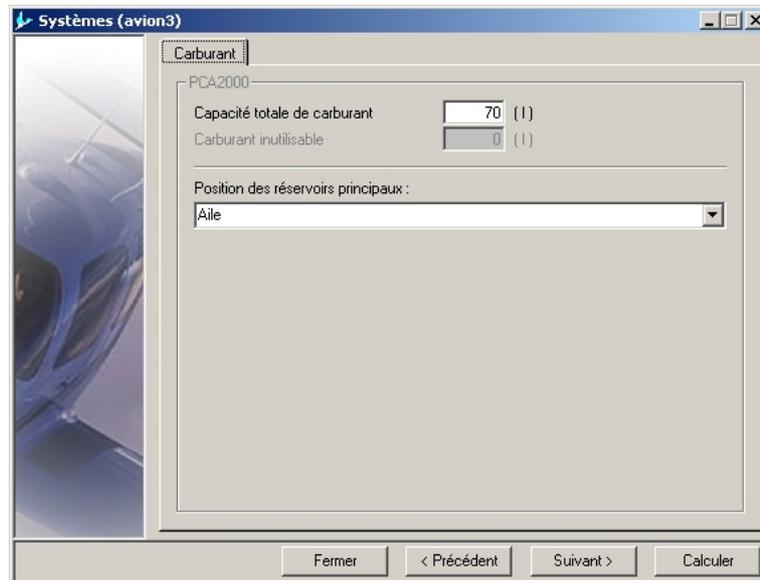
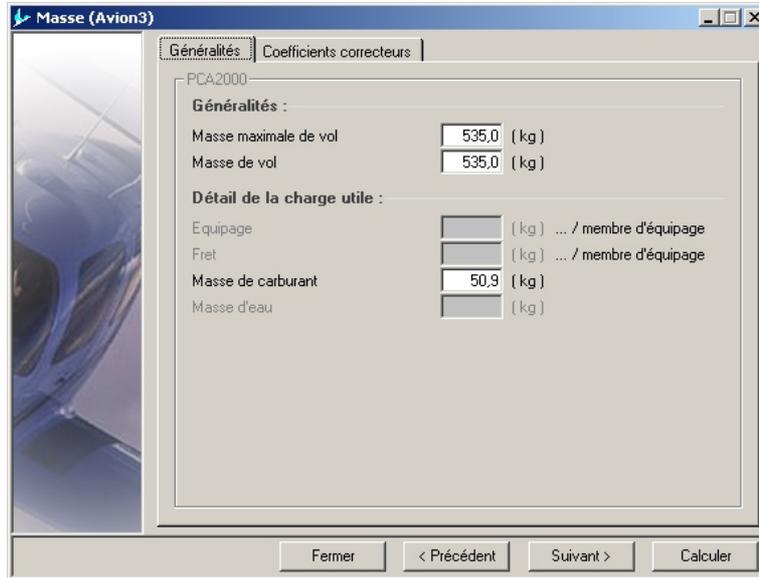
5.5.3.9 Systèmes

Figure 5.50 : Modélisation de niveau 3 (Systèmes)

5.5.3.10 Performances

Figure 5.51 : Modélisation de niveau 3 (Performances)

5.5.3.11 Masses**Figure 5.52 : Modélisation de niveau 3 (Masses)**

Contrairement aux 2 niveaux de modélisation précédents, la modélisation de niveau 3 détermine les performances de l'appareil pour une masse de vol donnée.

La masse à vide de l'appareil est calculée en faisant la somme des masses spécifiques des différents composants de l'avion. La masse d'un composant est calculée sur base de ses dimensions géométriques ainsi que sur la masse maximale au décollage de l'appareil.



Pour obtenir des informations détaillées au sujet des algorithmes utilisés lors de la modélisation, nous vous invitons à consulter les différentes notes techniques disponibles sur le site Internet de PCA2000.

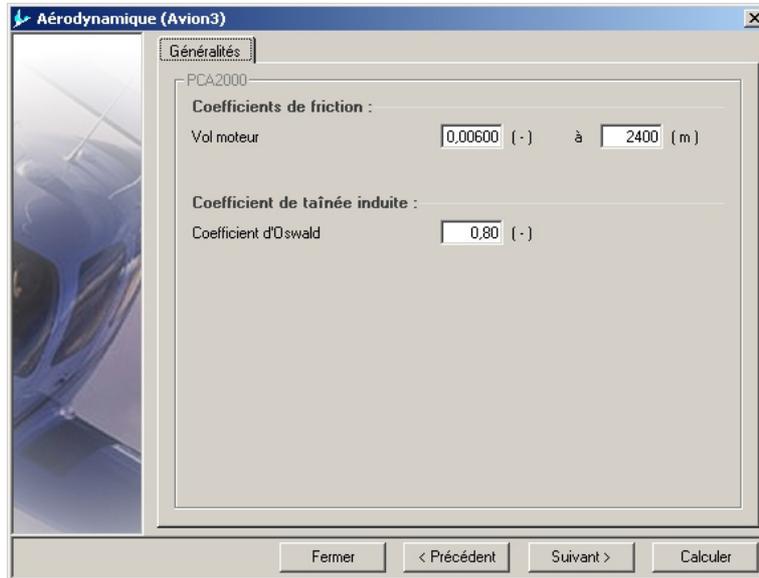
5.5.3.12 Aérodynamique

Figure 5.53 : Modélisation de niveau 3 (Aérodynamique)

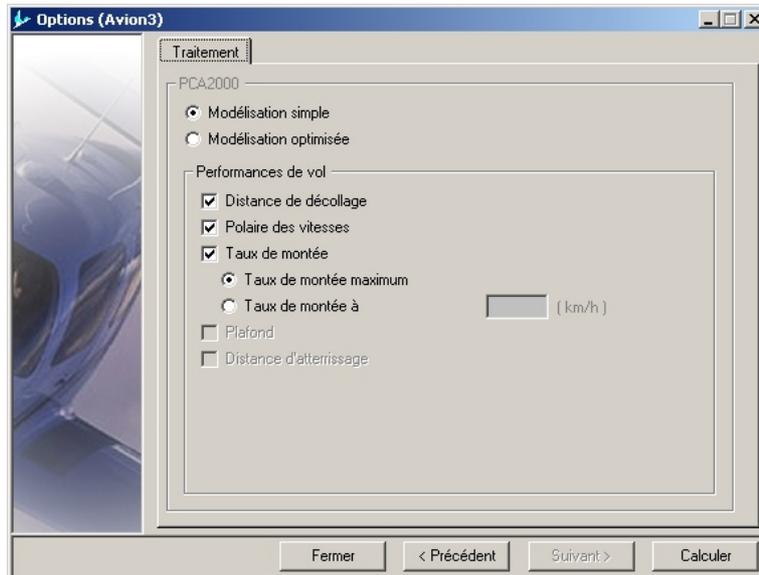
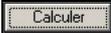
5.5.3.13 Options

Figure 5.54 : Modélisation de niveau 3 (Options)

Si votre licence vous y autorise, il vous est offert la possibilité d'effectuer une modélisation optimisée. Pour ce faire, nous vous invitons à consulter le chapitre intitulé « Modélisation optimisée » du manuel de l'utilisateur.

#### 5.5.4 Calculs

Pour effectuer les calculs, cliquez sur  qui apparaît sur chaque fenêtre d'acquisition de données.

Si des données sont manquantes, un message d'avertissement est affiché à l'écran, ensuite, la fenêtre d'acquisition qui contient la cellule vide est à son tour affichée à l'écran et le curseur est placé sur la cellule vide.



Pour obtenir des informations détaillées au sujet des algorithmes utilisés lors de la modélisation, nous vous invitons à consulter les différentes notes techniques disponibles sur le site Internet de PCA2000.

## 5.5.5 Résultats

### 5.5.5.1 Introduction

Au terme des calculs, la fenêtre de résultats est automatiquement affichée.

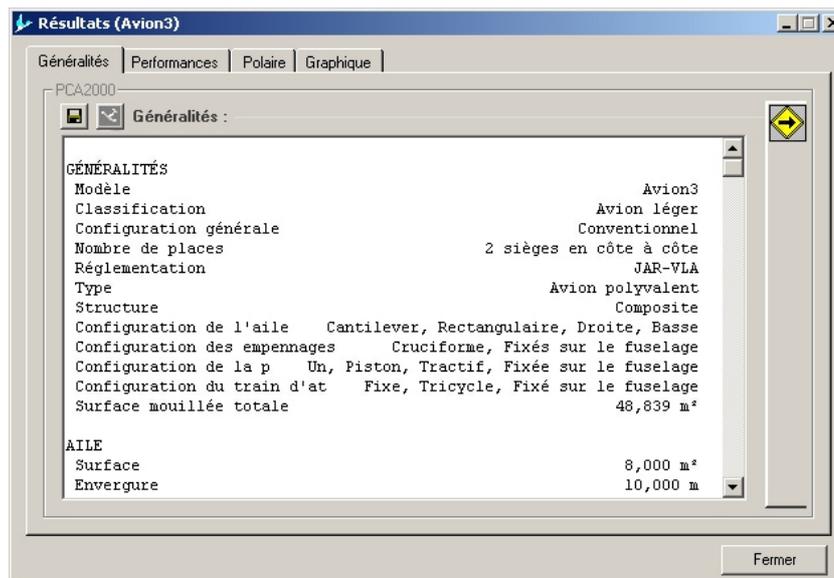


Figure 5.55 : Modélisation de niveau 3 (Généralités)



Le premier volet contient toutes les informations exceptées celles relatives aux performances. Le second volet contient exclusivement les informations relatives aux performances.

**Pour afficher les résultats dans leur ensemble :**

1. **Ouvrez** le tiroir en déplaçant le pointeur de la souris sur celui-ci puis,
2. **Cliquez** sur le bouton à option intitulé Généralités.

Tous les résultats sont à présent affichés sur la même feuille.

**Pour ne visualiser que les résultats qui se rapportent à un poste en particulier :**

1. **Ouvrez** le tiroir puis
2. **Cliquez** sur le bouton à option correspondant.

### 5.5.5.2 Généralités

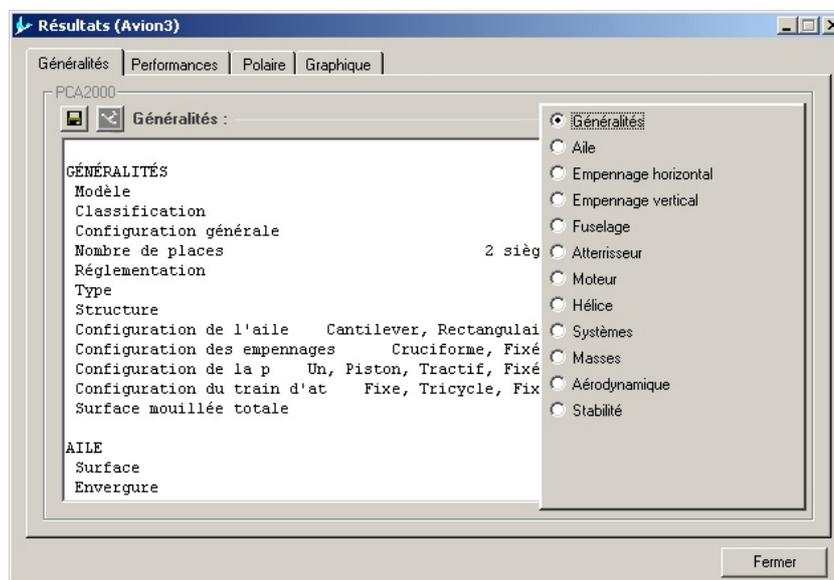


Figure 5.56 : Modélisation de niveau 3 (Affichage sélectif)

### 5.5.5.3 Performances

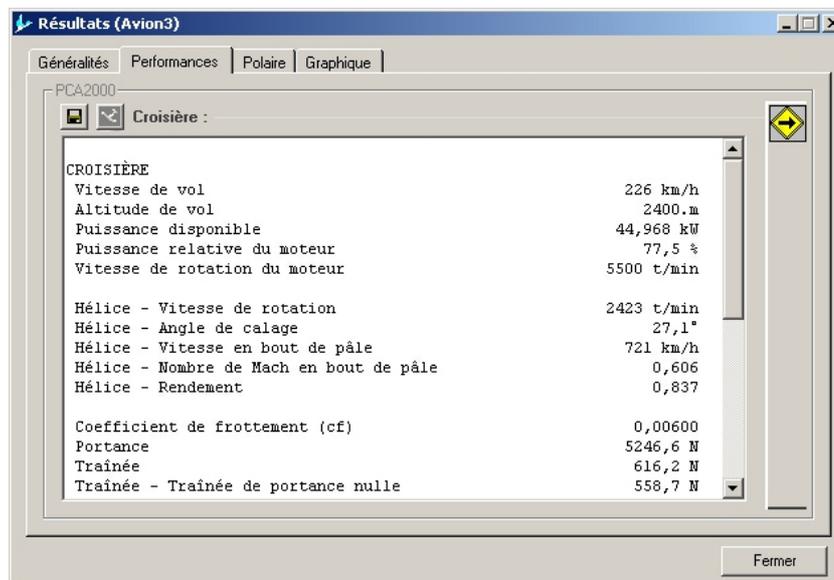


Figure 5.57 : Modélisation de niveau 3 (Performances)

Pour enregistrer le contenu de la zone d'affichage (onglets **Généralités** et **Performances**) :

1. **Cliquez** sur un des boutons à option disponibles sur le tiroir
2. **Cliquez** sur le bouton de commande  situé au-dessus de la zone d'affichage des résultats.

Un message apparaît dans la zone d'affichage des commentaires pour vous informer de l'état de l'enregistrement.



Deux fichiers de résultats ont été créés :

1. Le premier est un fichier texte (format .rtf ) que vous pouvez ouvrir dans n'importe quel logiciel de traitement de texte.
2. Le second est un fichier texte (format .csv ) que vous pouvez ouvrir dans n'importe quel tableur comme Excel par exemple.

5.5.5.4 Polaire des vitesses

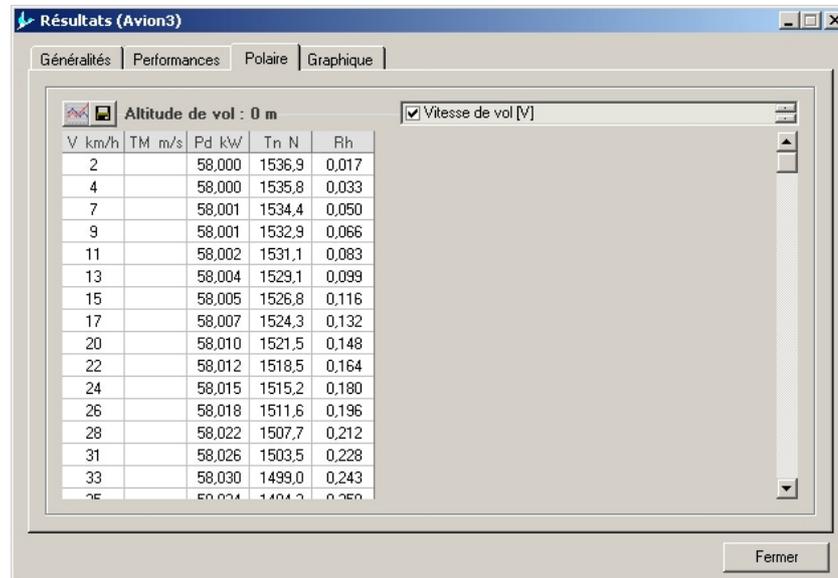


Figure 5.58 : Modélisation de niveau 3 (Polaire des vitesses)

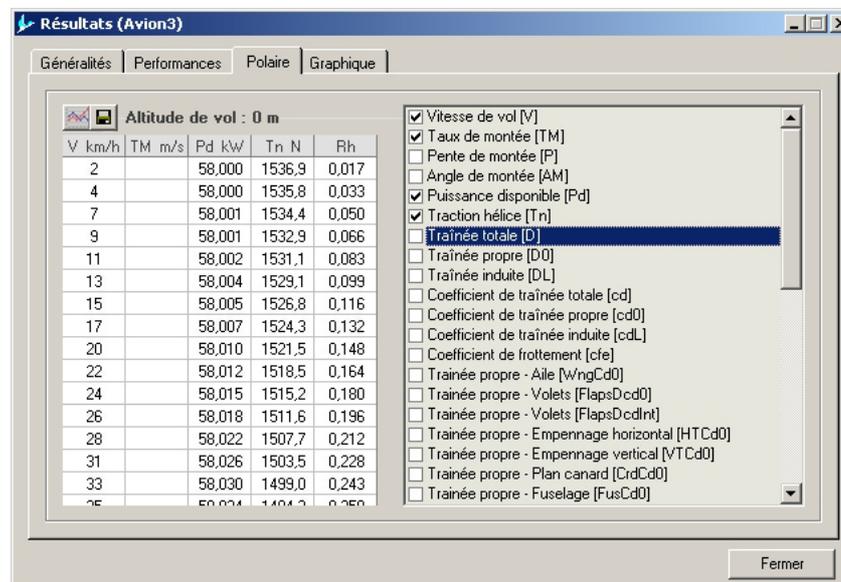


Figure 5.59 : Modélisation de niveau 3 (Affichage sélectif)

La polaire des vitesses est déterminée à l'altitude de vol définie pour la phase de montée.

Pour chaque vitesse allant de 0 km/h à la vitesse maximale de vol sont donnés :

- Performances (taux, pente et angle de montée)
- Puissance disponible
- Traction de l'hélice
- Traînée (propre et induite)
- Coefficients de traînée (total, propre, induite et spécifiques)
- Rendement de l'hélice
- Angle de calage de l'hélice
- Coefficients caractéristiques de l'hélice (vitesse, puissance et couple)

**Cliquez** sur  pour enregistrer le contenu du tableau dans un fichier au format .csv que vous pouvez ouvrir dans n'importe quel tableur comme Excel par exemple.

Un message apparaît dans la zone d'affichage des commentaires pour vous informer de l'état de l'enregistrement.



Le fichier .csv est enregistré dans le répertoire du jeu de données

Le nom du fichier .csv est défini SP- + numéro qui correspond à la date et heure d'enregistrement (par exemple SP-2005220933.csv).

Pour visualiser sur un graphique les informations contenues dans le tableau, **cliquez** directement sur l'onglet [**Graphique**] ou alors **cliquez** sur le bouton  placé au-dessus du tableau à gauche.

5.5.5.5 Mise en graphique des résultats

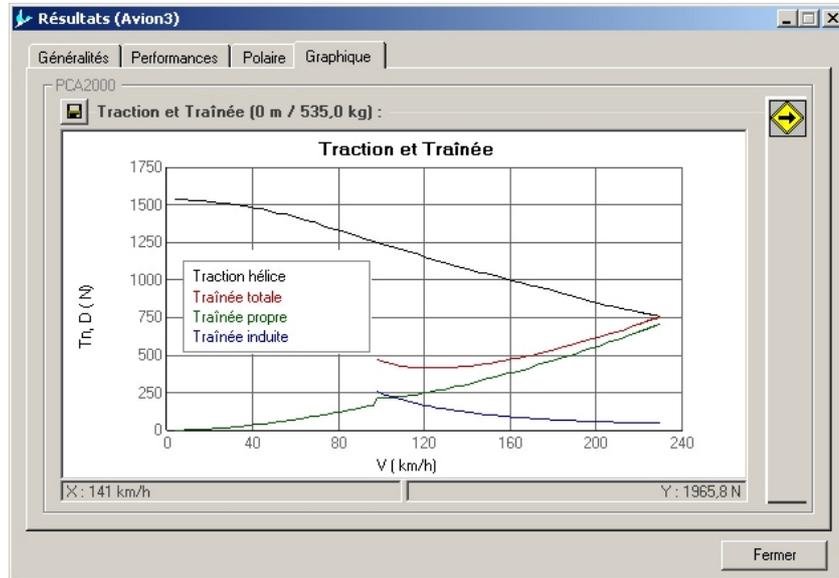


Figure 5.60 : Modélisation de niveau 3 (Courbes de performances)

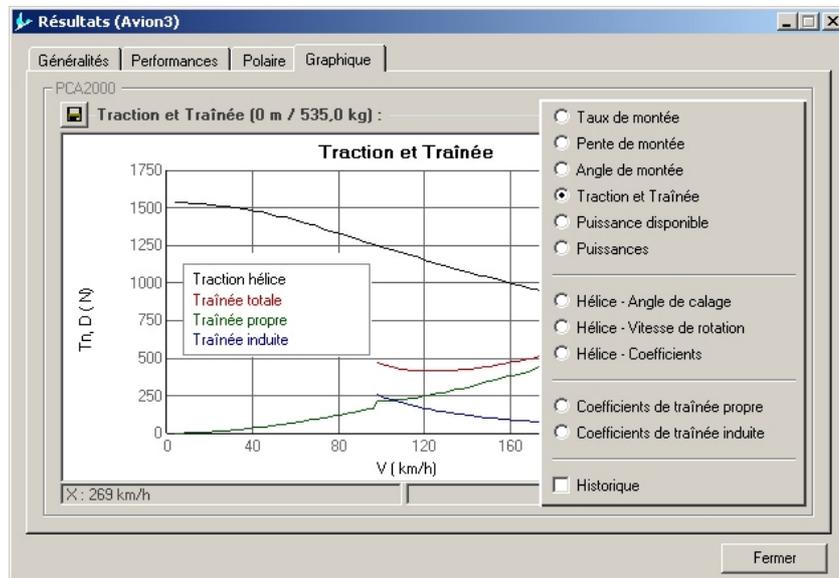


Figure 5.61 : Modélisation de niveau 3 (Affichage sélectif)

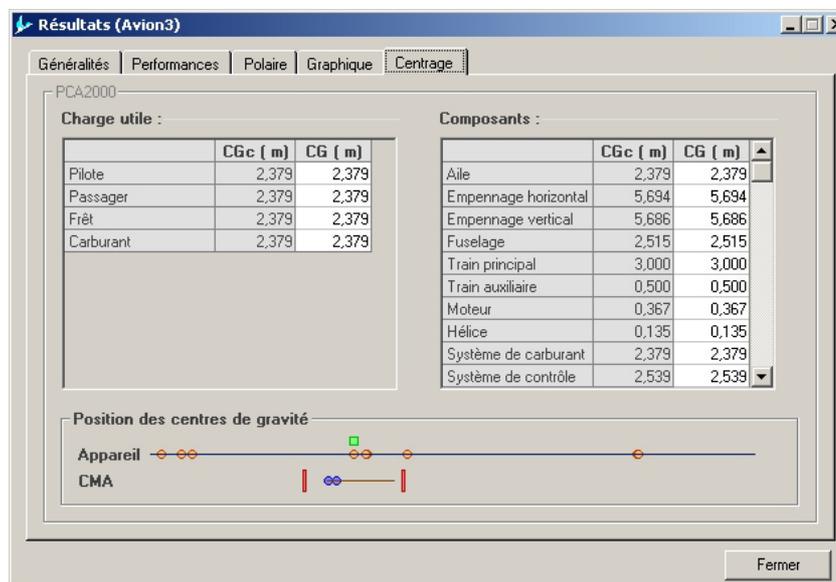
5.5.5.6 Centrage


Figure 5.62 : Modélisation de niveau 3 (Centrage)

La position des centres de gravités spécifiques ainsi que la position du centre de gravité de l'avion sont automatiquement calculées. La position de référence étant la pointe extrême avant de l'appareil.

Le tableau de gauche présente le détail de la charge utile. Le tableau de droite présente le détail des composants de l'avion (aile, empennages, ...).

Pour chaque tableau, la deuxième colonne à partir de la droite (fond gris) contient les valeurs qui ont été automatiquement calculées par le logiciel. Tandis que la première colonne à partir de la droite (fond blanc) contient les valeurs qui seront adoptées par l'utilisateur. Par défaut, ces valeurs sont identiques à celles calculées.

Une représentation graphique est affichée au bas de la fenêtre. Les centres de gravité spécifiques sont représentés par des ronds de couleur orange et sont positionnés sur une ligne dont la longueur est égale à la longueur hors tout de l'appareil. La masse utile est représentée par des carrés de couleur verte.

La position du centre de gravité de l'avion est représentée par des ronds de couleur bleue et sont positionnés sur une ligne dont la longueur est égale à la longueur de la corde moyenne aérodynamique de l'aile (CMA). La position du centre de gravité de l'avion a été calculée pour 2 cas de charge extrêmes à savoir celui qui correspond à la masse maximale de vol ainsi que celui qui correspond à la masse minimale de vol.

2 traits verticaux rouge représentent les limites extrêmes avant et arrière du centre de gravité pour assurer respectivement une bonne pilotabilité et une bonne stabilité. Quel que soit le cas de charge, le centre de gravité de l'avion doit se trouver à l'intérieur de ces limites.

Lorsque le pointeur de la souris est déplacé sur le graphique, les coordonnées locales sont affichées ainsi que la référence de l'élément sélectionné.



Pour enregistrer une image du graphique **cliquez** sur le bouton de commande  situé au-dessus du graphique.

Un message apparaît dans la zone d'affichage des commentaires pour vous informer de l'état de l'enregistrement.



Deux fichiers images ont été créés :

1. Le premier au format .bmp
2. Le second au format .jpg

Les différents résultats qui peuvent être affichés sous forme de graphique sont :

- Les performances
- Taux de montée
- Pente de montée
- Angle de montée
- Traction et traînée
- Puissance disponible
- Puissances
- Les paramètres caractéristiques de l'hélice
- Angle de calage
- Vitesse de rotation
- Coefficients caractéristiques
- Les coefficients de traînée spécifiques
- Coefficients de traînée propre
- Coefficients de traînée induite



#### 5.5.5.7 Imprimer les résultats

Pour imprimer les résultats de la modélisation, **cliquez** sur le bouton de commande  de la barre d'outil de la fenêtre principale.

#### 5.5.5.8 Enregistrer les résultats

Pour enregistrer les résultats de la modélisation, **cliquez** sur le bouton de commande  de la barre d'outil de la fenêtre principale.

Un message apparaît dans la zone d'affichage des commentaires pour vous informer de l'état de l'enregistrement.