

Documentation utilisateur

Alizé-Aéronautique® :

Dimensionnement neuf des chaussées aéronautiques
souples et méthode ACR/PCR

Alizé2-Aéronautique®, version 2.1

Documentation, version 2.1, octobre 2022.

Rédaction

Lucy Travailleur¹

Jacques Kerveillant²

Contribution

Michaël Broutin¹

Denis Lièvre²

Barthélémy Morvan²

Murilo Freitas²

Relecture

Michaël Broutin¹

Denis Lièvre²

Jean-Michel Simonin²

Murilo Freitas²

¹ *Service Technique de l'Aviation Civile*

² *Université Gustave Eiffel*

Les pictogrammes suivants sont utilisés pour guider la lecture du document :



Note, information utile



Idée pratique, suggestion



Avertissement



Texte de référence

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION	7
1.1	GENERALITES SUR ALIZE-AERONAUTIQUE®	7
1.2	REFONTE DU LOGICIEL ET EN PARTICULIER DU MODULE AERONAUTIQUE.....	8
1.3	NOUVEAUTES DE LA VERSION 2	9
1.3.1	<i>Choix des outils et méthodes de développement.....</i>	<i>9</i>
1.3.2	<i>Compatibilité avec la version Alizé-LCPC® 1.5.....</i>	<i>9</i>
1.3.3	<i>Principales nouveautés de Alizé2®</i>	<i>9</i>
2	DESCRIPTION DU LOGICIEL ET CONFIGURATION GENERALE DU MODULE AERONAUTIQUE.....	11
2.1	LANCEMENT D'ALIZE2®	11
2.2	CONFIGURATION DES PARAMETRES GENERAUX D'ALIZE2®	11
2.3	ORGANISATION DU MODULE ALIZE-AERONAUTIQUE®	13
2.4	ERGONOMIE ET NAVIGATION	14
2.5	GESTION D'UN PROJET.....	15
2.5.1	<i>Création d'un nouveau projet</i>	<i>15</i>
2.5.2	<i>Sauvegarde d'un projet.....</i>	<i>17</i>
2.5.3	<i>Ouverture d'un projet existant.....</i>	<i>17</i>
2.5.4	<i>Fermeture d'un projet.....</i>	<i>17</i>
2.5.5	<i>Suppression d'un projet</i>	<i>18</i>
2.5.6	<i>Paramétrage d'un projet.....</i>	<i>18</i>
3	SOUS-MODULE DIMENSIONNEMENT NEUF	20
3.1	PHASAGE D'UNE ETUDE DE DIMENSIONNEMENT NEUF.....	20
3.2	DEFINITION DE LA STRUCTURE DE CHAUSSEE (ONGLET <i>STRUCTURE</i>)	21
3.2.1	<i>Configuration générale de l'onglet Structure.....</i>	<i>21</i>
3.2.2	<i>Bibliothèque des matériaux</i>	<i>22</i>
3.2.3	<i>Tableau de données de structure</i>	<i>23</i>
3.2.4	<i>Schéma de la structure.....</i>	<i>27</i>
3.2.5	<i>Ajout d'un substratum peu profond.....</i>	<i>27</i>
3.2.6	<i>Vérification spécifique au dimensionnement d'une aire de stationnement ou d'attente</i>	<i>28</i>
3.2.7	<i>Aides logiciel de l'onglet Structure</i>	<i>29</i>
3.2.8	<i>Inclusion des données dans l'historique et export</i>	<i>29</i>
3.3	DEFINITION DU TRAFIC (ONGLET <i>TRAFIC</i>).....	31
3.3.1	<i>Configuration générale de l'onglet Trafic</i>	<i>31</i>
3.3.2	<i>Tableau de données de trafic.....</i>	<i>32</i>
3.3.3	<i>Aides logiciel de l'onglet Trafic</i>	<i>34</i>
3.4	OPTIMISATION DE LA STRUCTURE DE CHAUSSEE (ONGLET <i>OPTIMISATION</i>).....	35
3.4.1	<i>Configuration générale de l'onglet Optimisation.....</i>	<i>35</i>
3.4.2	<i>Sélection des paramètres d'optimisation.....</i>	<i>36</i>
3.4.3	<i>Lancement du calcul d'optimisation</i>	<i>36</i>
3.5	CALCULS DE DOMMAGES (ONGLET <i>DOMMAGES</i>)	38
3.5.1	<i>Configuration générale de l'onglet Dommages</i>	<i>38</i>
3.5.2	<i>Paramètres d'affichage des courbes à visualiser</i>	<i>39</i>
3.5.3	<i>Export des données de dommage</i>	<i>39</i>
3.6	VISUALISATION DE RESULTATS AVANCES (ONGLET <i>RESULTATS DETAILLES</i>).....	40
3.6.1	<i>Choix du mode de visualisation.....</i>	<i>40</i>
3.6.2	<i>Résultats en un point</i>	<i>40</i>
3.6.3	<i>Visualisation des résultats suivant une ligne</i>	<i>42</i>
3.6.4	<i>Visualisation des résultats suivant un plan</i>	<i>43</i>
3.6.5	<i>Export des résultats avancés.....</i>	<i>44</i>

3.7	GENERATION D'UNE NOTE DE DIMENSIONNEMENT NEUF	45
3.7.1	<i>Génération et personnalisation d'une note de synthèse aéronautique</i>	45
3.7.2	<i>Constitution de la note de dimensionnement neuf aéronautique</i>	46
4	SOUS-MODULE ACR/PCR	50
4.1	PHASAGE D'UNE ETUDE D'ADMISSIBILITE	50
4.2	DEFINITION DE LA STRUCTURE DE CHAUSSEE (ONGLET <i>STRUCTURE</i>)	51
4.2.1	<i>Configuration générale de l'onglet Structure</i>	51
4.2.2	<i>Tableau de données de structure</i>	52
4.2.3	<i>Aides logiciel de l'onglet Structure</i>	54
4.3	DEFINITION DU TRAFIC DE REFERENCE (ONGLET <i>TRAFIC</i>)	54
4.3.1	<i>Renseignement du trafic</i>	54
4.3.2	<i>Calcul des ACR des aéronefs</i>	54
4.3.3	<i>Aides logiciel de l'onglet Trafic</i>	55
4.4	CALCUL DU PCR DE LA CHAUSSEE (ONGLET <i>PCR</i>)	55
4.4.1	<i>Configuration générale de l'onglet PCR</i>	55
4.4.2	<i>Aides logiciel de l'onglet PCR</i>	56
4.5	EVALUATION DE L'ADMISSIBILITE DES AERONEFS EN DEPASSEMENT DE CHARGE (ONGLET <i>ADMISSIBILITE</i>)	56
4.5.1	<i>Configuration générale de l'onglet Admissibilité</i>	56
4.5.2	<i>Aides logiciel de l'onglet Admissibilité</i>	57
4.6	GENERATION D'UN RAPPORT PCR ET ETUDE D'ADMISSIBILITE	57
4.6.1	<i>Génération et personnalisation d'un rapport PCR/étude d'admissibilité</i>	57
4.6.2	<i>Constitution du rapport PCR/étude d'admissibilité</i>	59
5	NOMENCLATURE DES FICHIERS D'ENTREES ET DE SORTIES	62
6	EXEMPLES DE CALCULS	63
6.1	EXEMPLE DE DIMENSIONNEMENT NEUF D'UNE CHAUSSEE SOUPLE AERONAUTIQUE	63
6.1.1	<i>Données de trafic</i>	63
6.1.2	<i>Température équivalente et risque de calcul</i>	67
6.1.3	<i>Données de structure</i>	68
6.1.4	<i>Calcul des endommagements</i>	70
6.2	EXEMPLE D'ETUDE D'ADMISSIBILITE	71
6.2.1	<i>Exemple 8.2.1 : critère de déformation permanente dimensionnant</i>	71
6.2.2	<i>Exemple 8.2.2 : critère de fatigue des matériaux bitumineux dimensionnant</i>	73
7	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	75
ANNEXES	76	
A1	CHARGEMENT D'UNE BIBLIOTHEQUE PERSONNELLE DE MATERIAUX	76
A1.1	INTRODUCTION	76
A1.2	CHARGEMENT DE LA BIBLIOTHEQUE	76
A1.3	PRESENTATION DU FICHIER	77
A1.4	DEFINIR UN MATERIAU	78
A1.5	EXEMPLE DE FICHIER SANS MISE EN PAGE	80
A1.6	EXEMPLE DE FICHIER DANS UN TABLEUR	80
A2	VERSIONS DU LOGICIEL	81
QUELQUES SIGLES ET ACRONYMES	82	

1 Introduction

Alizé2® est un logiciel de dimensionnement des structures de chaussées qui s'appuie sur la méthode française de dimensionnement et sur la norme de dimensionnement des structures de chaussées neuves NF P 98 086 [1]. Il repose sur le calcul des contraintes et déformations dans un modèle de Burmister [2]. La structure est composée d'une superposition de couches semi-infinies en plan reposant sur un massif semi-infini. Le comportement des matériaux est supposé élastique linéaire.

Le logiciel est développé par l'Université Gustave Eiffel (ex LCPC, puis IFSTTAR), en collaboration avec le STAC pour le module aéronautique.

Alizé-LCPC®, Alizé-Aéronautique® et Alizé2® sont des marques déposées.

Cette notice présente le module Alizé-Aéronautique® faisant partie du logiciel Alizé2®. Ce module se déclinera, à termes, en trois sous-modules dédiés au dimensionnement neuf de chaussées souples, au renforcement de chaussées souples par des structures souples et au calcul de PCR pour tout type de chaussées.

Le module aéronautique permet de mettre en œuvre les méthodes rationnelles décrites :

- dans le guide « Méthode Rationnelle de Dimensionnement des Chaussées Aéronautiques Souples » [3] pour ce qui concerne le dimensionnement neuf. La connaissance de ce guide, ainsi que du Guide d'Application des Normes [4] est donc nécessaire à l'utilisation du logiciel. En particulier, pour le choix des différents paramètres de calcul (choix et caractéristiques des matériaux, durées de dimensionnement, risque de calcul, coefficients de calage, etc.), l'utilisateur devra se reporter à ces deux guides STAC.
- dans la Note d'Information Technique « La méthode ACR/PCR : outil de gestion du patrimoine » [5] à venir, pour ce qui concernera les calculs de PCR et études d'admissibilité.
- dans le « Guide de Suivi et de Renforcement des Chaussées Souples Aéronautiques » [6] à venir, pour ce qui concernera le renforcement.

1.1 Généralités sur Alizé-Aéronautique®

Le module Alizé-Aéronautique® est dérivé du logiciel de dimensionnement routier et utilise les mêmes principes de base :

- même méthode de calcul basé sur un modèle élastique linéaire multicouches axisymétrique (modèle de Burmister),
- même description des charges élémentaires des pneumatiques par des disques, sur lesquels s'applique une pression uniformément répartie,
- même description des structures, par la donnée des valeurs de module élastique E , de coefficient de Poisson ν et d'épaisseur de chaque couche H ,
- même formulation des critères de dimensionnement pour les chaussées bitumineuses :
 - la déformation horizontale de traction maximale à la base des couches bitumineuses ϵ_t (critère de fatigue),
 - la déformation verticale maximale au sommet du sol support ϵ_z (critère d'orniérage).

L'utilisation d'Alizé-Aéronautique® ne nécessite pas d'avoir une connaissance d'Alizé-Route. Cependant, les deux logiciels sont assez semblables.

Les principales différences d'Alizé-Aéronautique® par rapport au module routier concernant les points suivants :

1. Les types de structures de chaussées : seules les chaussées bitumineuses sont prises en compte dans les sous-modules *Dimensionnement neuf* et *Renforcement*. Pour plus de facilité, un modèle initial de structure est proposé à l'utilisateur à l'ouverture du sous-module, et peut être ensuite modifié. Excepté dans le cas du sous-module dédié au PCR, le type de structure est unique, et certains paramètres liés à la structure (coefficients K_s , Sh , etc.) sont donc prédéfinis, et ne doivent plus être renseignés par l'utilisateur.

2. Les caractéristiques des matériaux : les bibliothèques de matériaux proposées par défaut sont celles des bibliothèques standard de la norme NF P 98-086 [1]. Toutefois, pour les chaussées aéronautiques, seuls certains types de matériaux peuvent être utilisés. Pour cela, l'utilisateur devra se reporter au guide de dimensionnement [3] et au guide d'application des normes [4]. L'utilisation de matériaux bitumineux personnalisés est possible en important ces matériaux dans une bibliothèque utilisateur.

3. La description des charges et du trafic : dans le module aéronautique, le calcul ne s'effectue pas avec une charge équivalente, mais avec les caractéristiques de charge correspondant à chaque aéronef circulant sur l'aire considérée. Chaque aéronef est décrit par les charges de l'ensemble des roues de son train d'atterrissage (silhouette de l'aéronef). Le logiciel est interfacé avec une base de données (base FICAV du STAC [7]), qui rassemble les silhouettes de la plupart des aéronefs courants, circulant sur les aéroports français. La description du trafic se fait ensuite en précisant le nombre de passages de chaque aéronef, la température et la vitesse associés à ces passages, ainsi qu'un paramètre de balayage qui caractérise la dispersion latérale des positions de passage de chaque aéronef.

4. Le calcul de dommage : le dimensionnement est basé sur un concept de dommage cumulé. En effet, le trafic est composé de différents aéronefs et les positions transversales de passage des atterrisseurs de ces aéronefs sont différentes. Pour cette raison, le dimensionnement ne peut pas être réalisé pour une valeur unique de déformation maximale, calculée en un point unique. Il est donc nécessaire de tenir compte des positions latérales des atterrisseurs des différents aéronefs et de calculer des courbes de niveau de dommage qui représentent la variation de la valeur du dommage en fatigue D suivant y (i.e. dans le plan perpendiculaire au passage des charges). Ces courbes de niveau de dommage sont d'abord calculées séparément pour chaque aéronef, avec prise en compte ou non du balayage latéral, puis cumulées pour l'ensemble du trafic considéré. Le dimensionnement de la structure est satisfaisant lorsque la courbe de dommage cumulé pour le plus préjudiciable des deux critères considérés atteint une valeur maximale égale à 1 pour au moins une valeur de position transversale.

5. Le calcul d'optimisation : un mode de calcul itératif est également proposé. Celui-ci permet de rechercher automatiquement les épaisseurs de couches de chaussées conduisant à un dimensionnement satisfaisant (dommage cumulé maximal égal à 1). Cette optimisation des épaisseurs de couches peut être effectuée sur la couche de fondation ou sur la couche de base.

1.2 Refonte du logiciel et en particulier du module aéronautique

En 2016, la direction de l'IFSTTAR décide la refonte du logiciel afin de répondre à différents enjeux. En premier lieu, la maintenance de l'application Alizé-LCPC® devient délicate du fait de la vieillesse du langage VB6 (Visual Basic, version 6) et de ses vulnérabilités (fin du support Microsoft depuis mars 2008).

Ce projet de refonte donne l'occasion de revoir l'ergonomie de la version 1.5 en passant à un environnement plus moderne, plus agréable et facile d'appropriation. Enfin, la révision de la norme de dimensionnement NF P 98-086 [1] en mai 2019 réclamant l'adaptation du logiciel représente également une opportunité de changement.

Le projet Alizé2[®] définit pour sa version intégrale un objectif de quatre modules principaux :

- le module *Dimensionnement routier* ;
- le module *Dimensionnement aéronautique* ;
- le module *Rétro-calculs* ;
- le module *Gestion des bases de données*.

Commercialisé en 2016, le module aéronautique, initialement dédié uniquement au dimensionnement neuf de chaussées aéronautiques souples, enrichira son offre avec le passage à Alizé2[®]. A termes, ce sont trois sous-modules de calculs qui seront disponibles via Alizé-aéronautique[®] :

- sous-module *Dimensionnement neuf* ;
- sous-module *ACR/PCR* ;
- sous-module *Renforcement*.



Dans l'attente de la livraison de certains modules d'Alizé2[®], leurs fonctionnalités restent à la disposition des utilisateurs dans la version d'Alizé-LCPC[®] 1.5.

1.3 Nouveautés de la version 2

1.3.1 Choix des outils et méthodes de développement

Alizé2[®] est développé en C++, avec le framework Qt. Les algorithmes de calcul sont implémentés en C++ tandis que les interfaces sont développées en qml/Js (Qt Markup Language/Javascript).

Ce choix technologique apporte une souplesse accrue par rapport au Visual Basic, une plus grande maintenabilité, et de nombreuses fonctionnalités permettant une amélioration très nette de l'interface utilisateur.

La maintenance de l'application est également favorisée par des méthodes de développement modernes et un plan d'assurance qualité logicielle exigeant.

1.3.2 Compatibilité avec la version Alizé-LCPC[®] 1.5

Il est pour l'heure impossible de charger des fichiers de structures (.dat) et de trafics (.dap) générés par la version 1.5 d'Alizé-LCPC[®], et ainsi de poursuivre une étude de dimensionnement débutée dans l'ancienne version. De même, il est impossible d'enregistrer une structure et un trafic avec Alizé2[®] Aéronautique aux formats de la version Alizé-LCPC[®] 1.5. Cette compatibilité entre Alizé-LCPC[®] 1.5 et Alizé2[®] Aéronautique fera l'objet d'une évolution dans les versions à venir.

1.3.3 Principales nouveautés de Alizé2[®]

Des fonctionnalités ont été ajoutées pour apporter à l'utilisateur une expérience plus agréable et personnalisée, dont les principales sont les suivantes :

- le logiciel est compatible avec la dernière norme de dimensionnement NF P98-086 [1], datant de mai 2019, intégrant notamment de nouvelles bibliothèques de matériaux, de nouveaux guides CAM, Risques et Interface, et un mode de calcul optimisé pour la vérification au gel ;

- la fenêtre principale se présente comme une succession d'onglets représentant les différentes étapes d'une étude de structure, le multifenêtrage étant désormais réduit aux seules situations qui le nécessitent. L'utilisateur a ainsi une meilleure vision de sa navigation dans le logiciel ;
- la notion de gestion de projet est désormais intégrée au logiciel ;
- le calcul de la RseR (Roue Simple Equivalente Rationnelle), qui tient compte désormais de la contribution de chaque avion au dommage total de chaque couple température-fréquence ;
- la génération paramétrable d'un rapport au format pdf est désormais possible. L'utilisateur peut apporter des précisions sur l'étude effectuée et choisir les hypothèses et résultats de calcul à intégrer à cette note de calculs ;
- une fonctionnalité de couplage des structures a été ajoutée afin que le calcul de PCR et la vérification au gel puisse être examinée sur la même structure que celle mise en place dans les modules de dimensionnement (dimensionnement neuf et renforcement) ;
- des extensions qui seront disponibles afin d'enrichir l'offre du module Alizé-Aéronautique® : un sous-module *ACR/PCR* (module **gratuit** permettant le calcul des PCR pour **tous types de chaussées**) et un sous-module *Renforcement* permettant de dimensionner le renforcement de chaussées aéronautiques souples par des chaussées souples (ajout de matériaux bitumineux uniquement, ou bien ajout d'une couche de GNT et de matériaux bitumineux).

2 Description du logiciel et configuration générale du module aéronautique

2.1 Lancement d'Alizé2®

La fenêtre d'accueil du logiciel (Figure 2.1) présente quatre photos illustrant chacune un module de l'application :

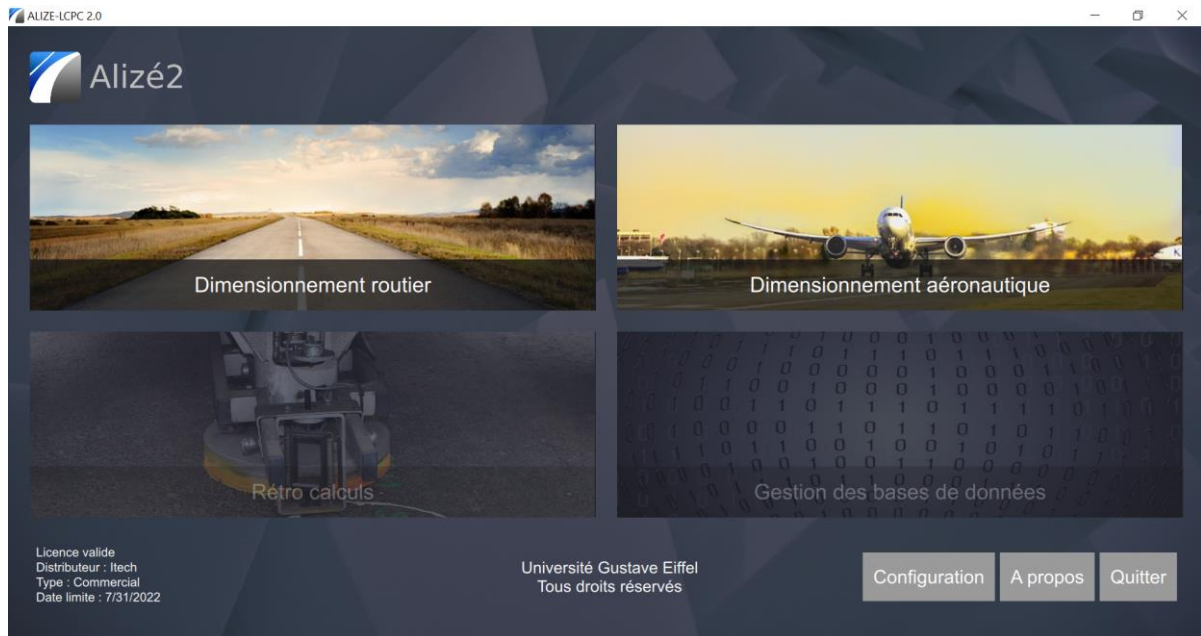


Figure 2.1 : fenêtre d'accueil de l'application

Les photos des modules disponibles apparaissent en clair, tandis que les photos grisées correspondent aux modules indisponibles (développement non encore réalisé ou licence non active). Un module disponible s'ouvre en cliquant sur la photo correspondante.

En bas à droite, le bouton *Quitter* ferme l'application tandis que le bouton *A propos* donne accès aux informations relatives aux crédits de développement.

2.2 Configuration des paramètres généraux d'Alizé2®

En cliquant sur le bouton *Configuration* de la fenêtre d'accueil, Alizé2® propose un écran (Figure 2.2) permettant de personnaliser :

- la langue de l'interface ;
- le thème de couleurs ;
- la taille d'affichage du texte et des contrôles de l'interface.

Concernant ce dernier paramètre, il est possible de faire varier la valeur de zoom. La fourchette de variation dépend de la résolution de l'écran et de la configuration de l'affichage dans le système d'exploitation. L'option *Écran haute résolution* permet d'augmenter la valeur maximale de zoom, si nécessaire, pour un affichage optimal.

Compte-tenu de la très grande variété des configurations matérielles et logicielles, l'utilisateur est invité à tester et trouver par lui-même la meilleure taille d'affichage pour son usage d'Alizé2®.

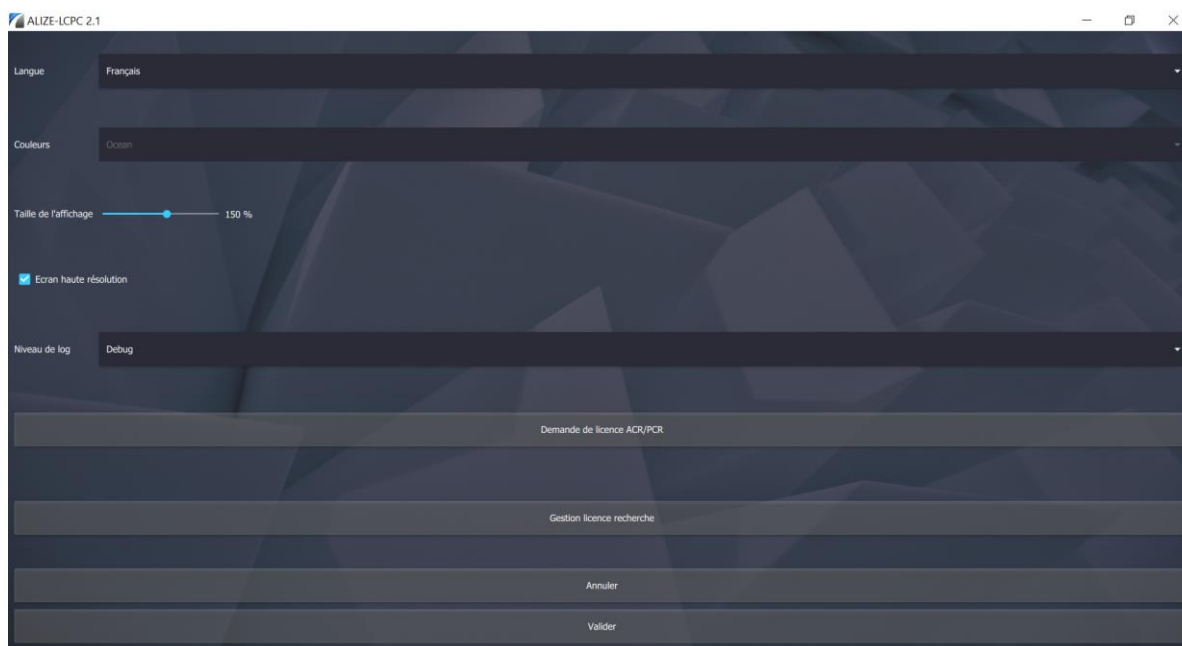


Figure 2.2 : fenêtre de configuration des paramètres

Par ailleurs, dans n'importe quel écran d'Alizé® :

- l'utilisation du raccourci combinant les touches CTRL et + provoque une augmentation du zoom par pas successifs de 10 % ;
- l'utilisation du raccourci combinant les touches CTRL et – provoque une diminution du zoom par pas successifs de 10 %.

La fenêtre de configuration des paramètres permet également d'effectuer une demande d'activation de licence pour le sous-module *ACR/PCR* (Figure 2.3). En effet, bien que ce sous-module soit gratuit, il convient d'effectuer une demande de licence auprès du distributeur Itech. Pour ce faire, l'utilisateur doit cliquer sur « Demande de licence ACR/PCR ». Il est alors renvoyé vers une fenêtre contenant plusieurs champs à compléter (nom, prénom et organisme). Une fois les différents champs complétés, l'utilisateur clique sur « Générer courrier de demande ». Un courrier prérempli à destination d'Itech contenant les informations précédentes est alors automatiquement généré. L'utilisateur doit alors envoyer ce courrier à l'adresse mail renseignée automatiquement par Alizé afin que sa licence puisse être activée à distance.

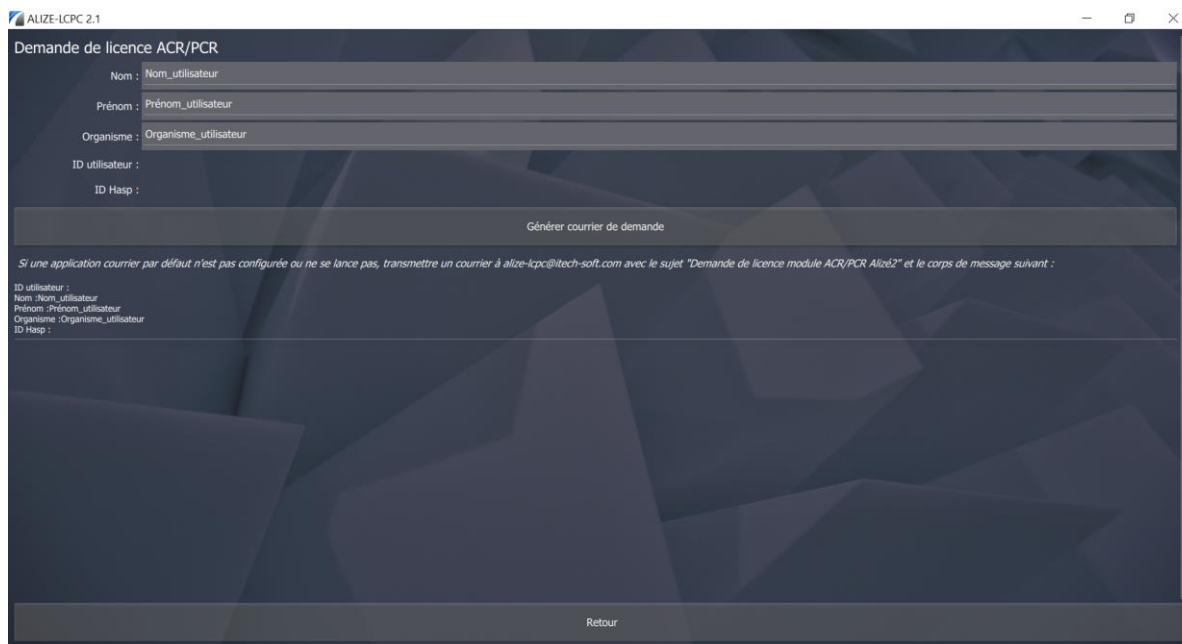


Figure 2.3 : fenêtre de demande de licence ACR/PCR

Pour quitter la configuration sans enregistrer les modifications, l'utilisateur cliquera sur le bouton *Annuler*, sinon sur le bouton *Valider*.

2.3 Organisation du module Alizé-Aéronautique®

Le module aéronautique comportera, à termes, trois sous-modules :

- Un sous-module *Dimensionnement neuf* (module de gauche sur la Figure 2.4) ;
- Un sous-module *ACR/PCR* (module de droite sur la Figure 2.4) ;
- Un sous-module *Renforcement* (module à paraître dans une version ultérieure de l'application) ;

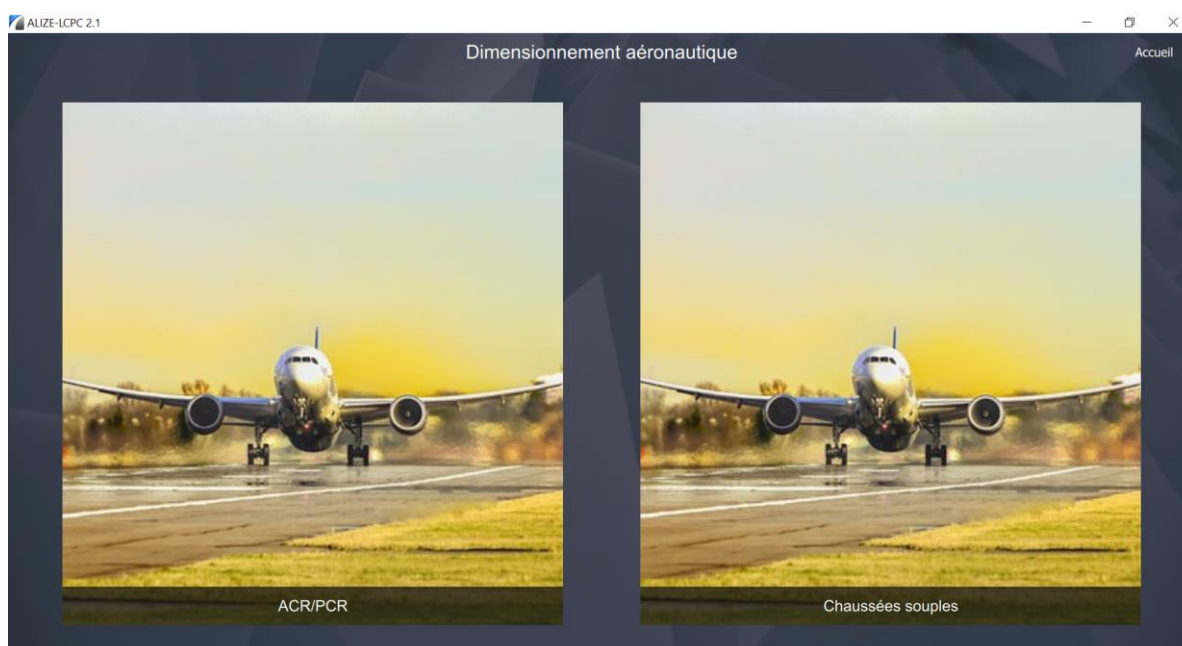


Figure 2.4 : sous-modules disponibles dans le module Dimensionnement aéronautique

Le sous-module *Dimensionnement neuf* permet à l'utilisateur de réaliser un dimensionnement aéronautique classique d'une chaussée souple neuve, conformément au guide technique Méthode rationnelle de dimensionnement des chaussées aéronautiques souples [3].

Le sous-module *ACR/PCR* permet à l'utilisateur de réaliser des calculs de PCR pour des chaussées souples ou rigides, conformément à la nouvelle méthodologie développée par l'OACI [8] et retranscrite par le STAC [5]. Ce sous-module permet également d'effectuer des études d'admissibilité d'aéronefs hors trafic de référence.

Le sous-module *Renforcement des chaussées souples* (à paraître) permettra de réaliser des calculs de renforcement de chaussées souples par une structure souple, conformément à la méthodologie développée par le STAC [6].

2.4 Ergonomie et navigation

L'utilisation de l'application repose sur un principe de navigation : par clics successifs sur les onglets (**cadres rouges n°1a, 1b, 1c, 1d et 1e** de la Figure 2.5), le contenu de la fenêtre évolue pour offrir à l'utilisateur les fonctionnalités souhaitées.

Ainsi, typiquement, pour mener à bien un projet de dimensionnement aéronautique, par exemple, l'utilisateur effectuera les manipulations successives suivantes :

- sur la fenêtre d'accueil, clic sur le bouton du module de dimensionnement aéronautique ;
- sur la fenêtre de présentation des sous-modules aéronautiques, clic sur le sous-module *Dimensionnement neuf* (ou, à termes, sur le sous-module *PCR* ou le sous-module *Renforcement*) ;
- clic sur l'un des boutons pour créer ou ouvrir un projet ;
- après paramétrage de la structure au niveau du premier onglet (**cadre rouge n°1a**, Figure 2.5), clic sur l'onglet *Trafic* (**cadre rouge n°1b**, Figure 2.5) pour définir les caractéristiques du trafic considéré ;
- clic sur l'onglet *Optimisation* (**cadre rouge n°1c**, Figure 2.5) pour optimiser la structure soit en termes d'épaisseur de couche de base, soit en termes d'épaisseur de couche de fondation ;
- clic sur l'onglet *Dommages* (**cadre rouge n°1d**, Figure 2.5) pour visualiser les courbes de dommages ;
- clic sur l'onglet *Résultats détaillés* (**cadre rouge n°1e**, Figure 2.5) pour visualiser des résultats avancés associés à la structure (éventuellement optimisée) et au trafic projet.

L'apparence générale d'une fenêtre, illustrée par la Figure 2.5, se compose de :

- un menu contextuel en haut à gauche (**cadre rouge n°2**), représenté par trois traits horizontaux et dont le contenu est d'ordre général et adapté au module en cours ;
- un bouton *Accueil* en haut à droite (**cadre rouge n°3**), permet de revenir à la fenêtre initiale de l'application ;
- un ou des « volets » (**cadre rouge n°4**). Ils peuvent être tantôt masqués afin de libérer de la place pour les informations principales, tantôt affichés selon que l'utilisateur souhaite voir certaines informations complémentaires. Un volet peut être situé sur n'importe quel côté de l'écran (haut, droite, bas, gauche), mais se trouvera le plus souvent à droite. Notons que deux volets peuvent être accolés.

Un volet est délimité par un bouton qui offre deux options à l'utilisateur :

- o la première consiste à cliquer dessus et a pour effet de masquer/afficher le volet ;

- la seconde consiste à positionner la souris sur le bord de cette barre pour transformer le curseur en une flèche double, puis par un cliquer-glisser vers la gauche ou la droite a pour effet de modifier la largeur du volet ;

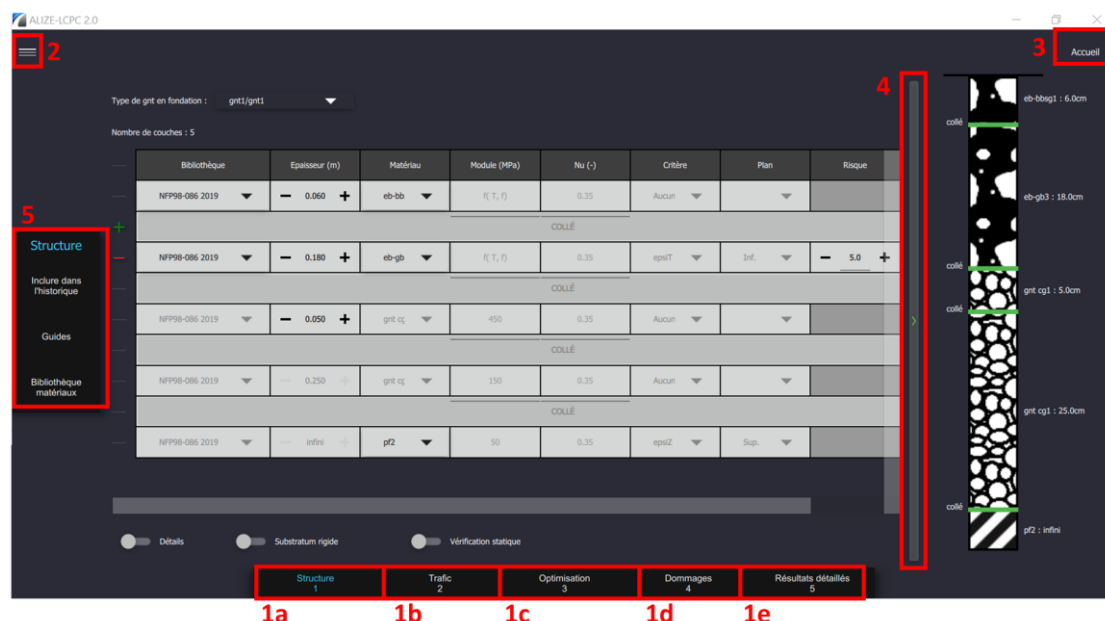


Figure 2.5 : éléments généraux de navigation – exemple de l’onglet Charge pour un dimensionnement routier standard

- des onglets, comme mentionné précédemment, permettant de progresser par étapes ;
- un menu vertical, en accès direct, à gauche (cadre rouge n°5). Ce dernier est adapté à l’étape en cours.



Les éléments de contrôle listés ci-dessus ne sont présents que s’ils sont nécessaires pour l’utilisation de la fenêtre courante.



Les saisies des valeurs numériques dans Alizé2® doivent se faire en utilisant le point « . » comme séparateur décimal (et non pas la virgule).

2.5 Gestion d’un projet

La gestion d’un projet comporte sa création, sa description, sa sauvegarde, sa réouverture, sa fermeture et sa suppression.

2.5.1 Création d’un nouveau projet

Une fois dans le module voulu, l’utilisateur doit cliquer sur le bouton *Nouveau projet* (Figure 2.6) :

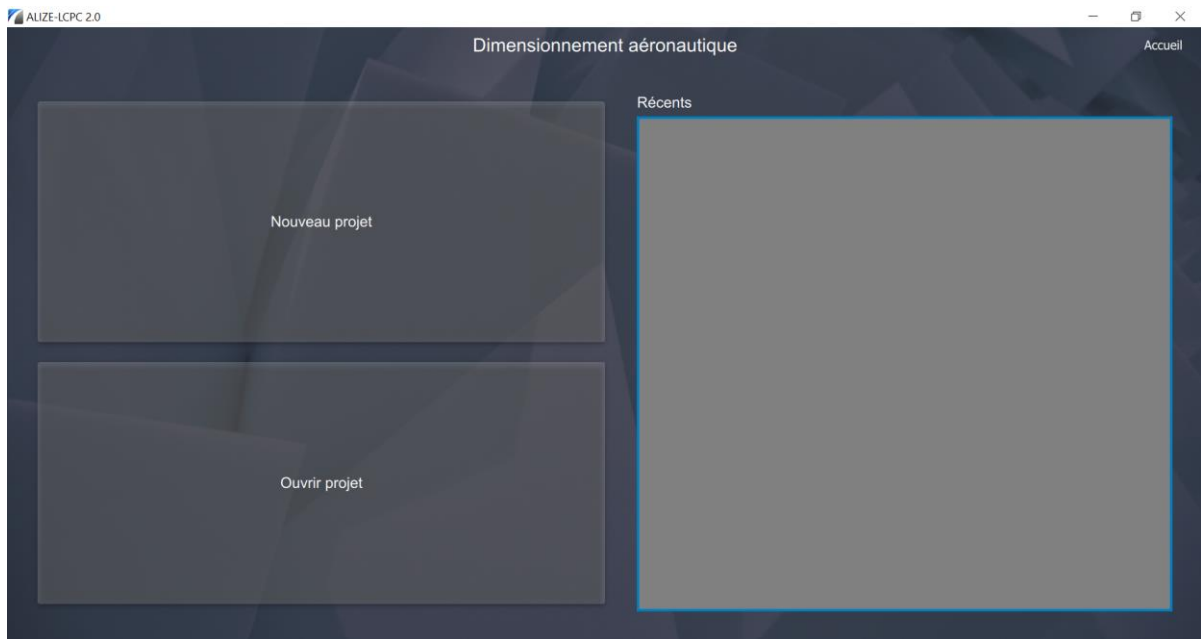


Figure 2.6 : fenêtre d'ouverture et de création de nouveau projet

La fenêtre suivante (Figure 2.7) permet de renseigner divers champs relatifs au projet et utilisés par la suite pour la génération du rapport mécanique (voir sections 3.7 et 4.6 sur la Génération d'une note de calculs pour un dimensionnement neuf et une étude d'admissibilité respectivement) :

Figure 2.7 : fenêtre de définition du nouveau projet

L'avertissement permet à l'utilisateur d'attirer l'attention du destinataire du rapport sur un ou plusieurs points importants de l'étude.

Le répertoire est celui de sauvegarde du projet, sur lequel l'utilisateur doit bien sûr avoir des droits d'accès en écriture.

Cliquer sur le bouton *Suivant* permet d'accéder au projet proprement dit.



Afin de pouvoir enregistrer un projet sur un réseau d'entreprise, il faut utiliser un lecteur réseau de type Z:\.... La syntaxe « \\nom_serveur\... » est déconseillée.

2.5.2 Sauvegarde d'un projet

Après modification, le projet peut être enregistré en passant par le menu disponible en haut à gauche, représenté par 3 traits horizontaux (Figure 2.5).

Une liste d'options s'ouvre. Il est possible (Figure 2.8) d'enregistrer le projet :

- à son emplacement actuel, en cliquant sur *Enregistrer* ;
- à un autre emplacement, en cliquant sur *Enregistrer sous*, et en sélectionnant le nouvel emplacement.



Figure 2.8 : options du menu au sein du projet

2.5.3 Ouverture d'un projet existant

Pour ouvrir un projet précédemment créé, plusieurs possibilités s'offrent à l'utilisateur :

- à l'ouverture d'Alizé2®, il peut cliquer sur le bouton *Ouvrir projet* (Figure 2.6), puis sélectionner le projet dans l'arborescence des fichiers.
- dans le cas d'un projet créé récemment, il est possible de l'ouvrir plus rapidement en le sélectionnant par un clic simple, dans la liste présentée dans le bloc de droite de la même fenêtre (Figure 2.6).
- en cours d'utilisation d'Alizé2®, il est également possible de passer par le menu *Charger*, depuis le module en cours d'utilisation (Figure 2.8).

2.5.4 Fermeture d'un projet

Après avoir enregistré son projet, l'utilisateur peut le fermer :

- soit en cliquant sur le bouton *Accueil*. Une fenêtre d'avertissement apparaît alors (Figure 2.9) :

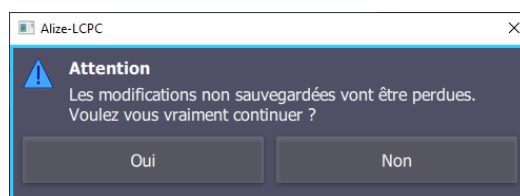


Figure 2.9 : fenêtre d'avertissement avant la fermeture du projet

- soit en fermant tout simplement la fenêtre Alizé2®. Une fenêtre d'avertissement apparaît alors (Figure 2.10) :

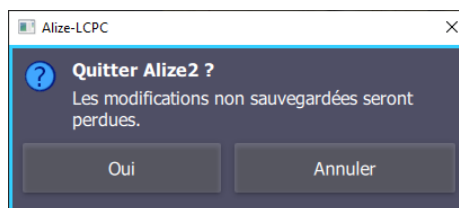


Figure 2.10 : message d'avertissement avant la fermeture de la fenêtre Alizé2®

2.5.5 Suppression d'un projet

La suppression d'un projet se fait en dehors du logiciel, directement depuis l'explorateur de fichiers, à l'emplacement où le projet est sauvegardé.

2.5.6 Paramétrage d'un projet

A partir du menu disponible en haut à gauche, représenté par 3 traits horizontaux (Figure 2.5 *supra*), l'utilisateur peut choisir de paramétrer son projet.

Différentes options de paramétrage apparaissent (Figure 2.11) :

- la méthode d'intégration pour le calcul (**cadre rouge n°1**) est par défaut la méthode dite classique (qui prend en compte l'ensemble du signal de déformation, et non pas uniquement les pics de maxima et minima) ;
- les dimensions de la grille de calcul (**cadre rouge n°2**), qui définit l'espacement (suivant x et y) des points auxquels les valeurs des paramètres mécaniques sont calculées. Par défaut, ces dimensions sont fixées à 0,05 m suivant x et suivant y, ce qui correspond au mode Précis+ de la version 1.5 du logiciel Alizé-LCPC® (soit la grille de densité maximale) ;
- la distance maximale à la roue utile, qui définit la distance à partir de laquelle on ne calcule plus la contribution d'une roue au dommage, par défaut fixée à 10 m (**cadre rouge n°3**) ;

Figure 2.11 : paramétrage du projet

- la prise en compte ou non de la roulette de nez (**cadre rouge n°4**) ;

- le calcul automatique de la Roue Simple Equivalente Rationnelle – RseR (**cadre rouge n°5**) : l'utilisateur peut soit choisir de laisser le logiciel calculer automatiquement la valeur de la RseR, soit fixer cette valeur ;
- les paramètres d'exportation des résultats (**cadre rouge n°6**) : l'utilisateur peut modifier les caractères de séparation des colonnes, des décimales, des milliers, les nombres de décimales, et le chemin vers le fichier d'exportation.

Les modifications effectuées par l'utilisateur dans cette fenêtre sont automatiquement prises en compte au moment de la validation.



La RseR (Roue Simple Equivalente Rationnelle) est désormais calculée en tenant compte de la contribution au dommage total de chaque couple température/fréquence. Cette nouvelle méthode de calcul est détaillée en appuyant sur le « ? » à droite de la méthode de calcul de RseR.

3 Sous-module *Dimensionnement neuf*

3.1 Phasage d'une étude de dimensionnement neuf

Les différentes phases d'une étude de dimensionnement neuf, conformément à la méthode décrite dans le guide dédié, et en utilisant Alizé-Aéronautique®, sont présentées sur la Figure 3.1.

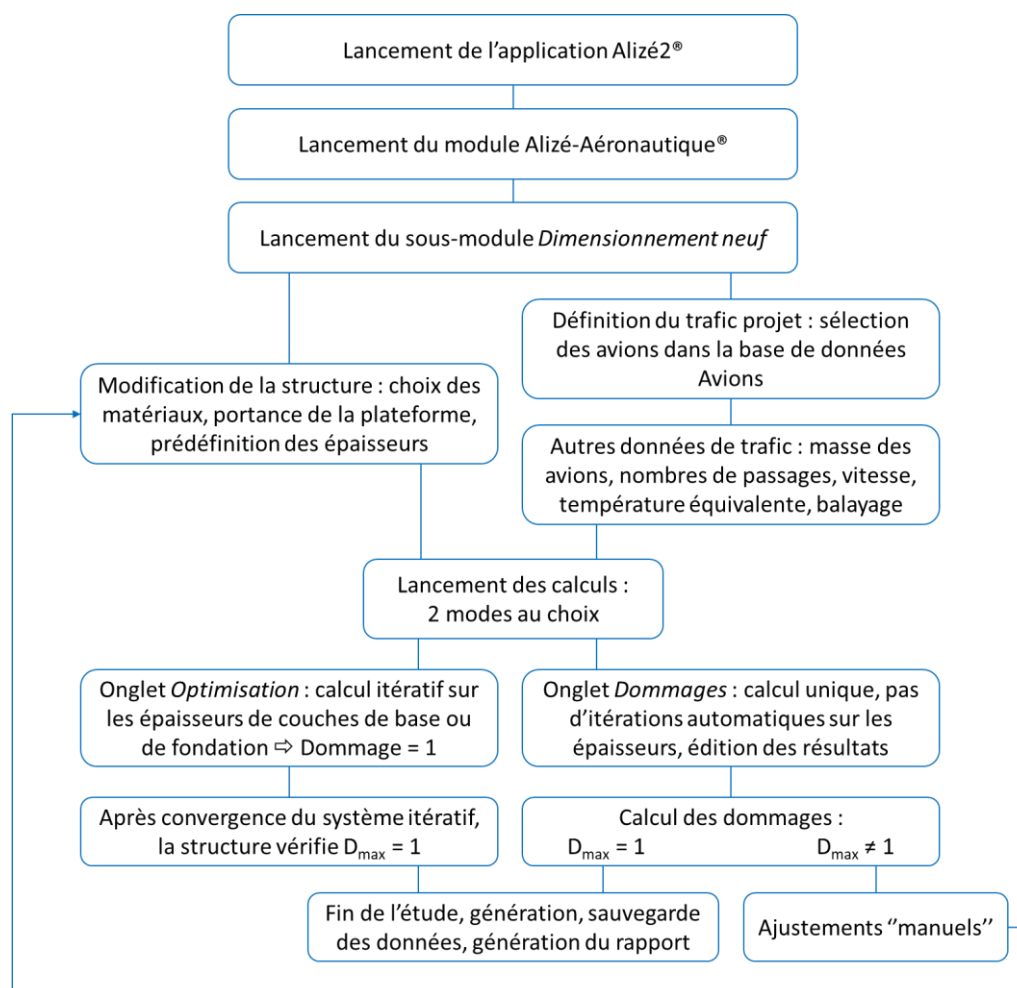


Figure 3.1 : différentes phases d'une étude de dimensionnement neuf avec Alizé-Aéronautique®



Les éléments de renseignement de la structure de chaussée (choix des matériaux et des épaisseurs initiales) et du trafic sont des données d'entrée pour le logiciel Alizé-Aéronautique®. Les éléments de structure sont choisis conformément aux recommandations du GAN [4].

Une fois le projet ouvert ou nouvellement créé (cf. section 2.5 sur la Gestion d'un projet), l'utilisateur va pouvoir réaliser son dimensionnement neuf en passant par les différentes étapes nécessaires, rappelées dans la Figure 3.1 *supra*, et matérialisées par la barre d'onglets située en bas de la fenêtre (Figure 3.2).

Structure	Trafic	Optimisation	Dommages	Résultats détaillés
1	2	3	4	5

Figure 3.2 : barre de navigation entre les onglets du sous-module Dimensionnement neuf

3.2 Définition de la structure de chaussée (onglet *Structure*)

3.2.1 Configuration générale de l'onglet *Structure*

Le premier onglet permet de définir la structure à dimensionner. L'apparence générale de l'onglet *Structure*, illustrée par la Figure 3.3, se compose de :

- deux fenêtres permettant de renseigner la structure initiale (**cadres rouges n°1a et 1b**) ;
- un schéma de la structure modélisée conformément aux données renseignées par l'utilisateur (**cadre rouge n°2**), qui apparaît sous forme de volet pouvant donc être masqué à tout moment par l'utilisateur ;
- un bouton commutateur permettant de masquer/afficher le détail des paramètres de calculs renseignés automatiquement par Alizé-Aéronautique® pour ce sous-module : K_r , K_s , S_H , etc. (**cadre rouge n°3**) ;
- un bouton commutateur permettant d'ajouter/ôter un substratum rigide peu profond (**cadre rouge n°4** et description dans la section 3.2.5 *infra*) ;
- un bouton commutateur permettant de transposer la structure d'étude en vue d'effectuer une vérification sous charges statiques (**cadre rouge n°5** et description dans la section 3.2.6 *infra*) spécifique au dimensionnement d'une aire de stationnement ou d'attente ;
- un menu vertical, en accès direct, à gauche (**cadre rouge n°6**), permettant à l'utilisateur de :
 - inclure les données de structure dans l'historique en cliquant sur *Inclure dans l'historique* (voir la section 3.2.8 *infra* sur l'export des données de structure) ;
 - accéder à l'aide logiciel pour cet onglet en cliquant sur *Guides* (voir la section 3.2.7 *infra* sur les aides logiciels pour ce sous-module) ;
 - accéder à la bibliothèque des matériaux en cliquant sur *Bibliothèque matériaux*.

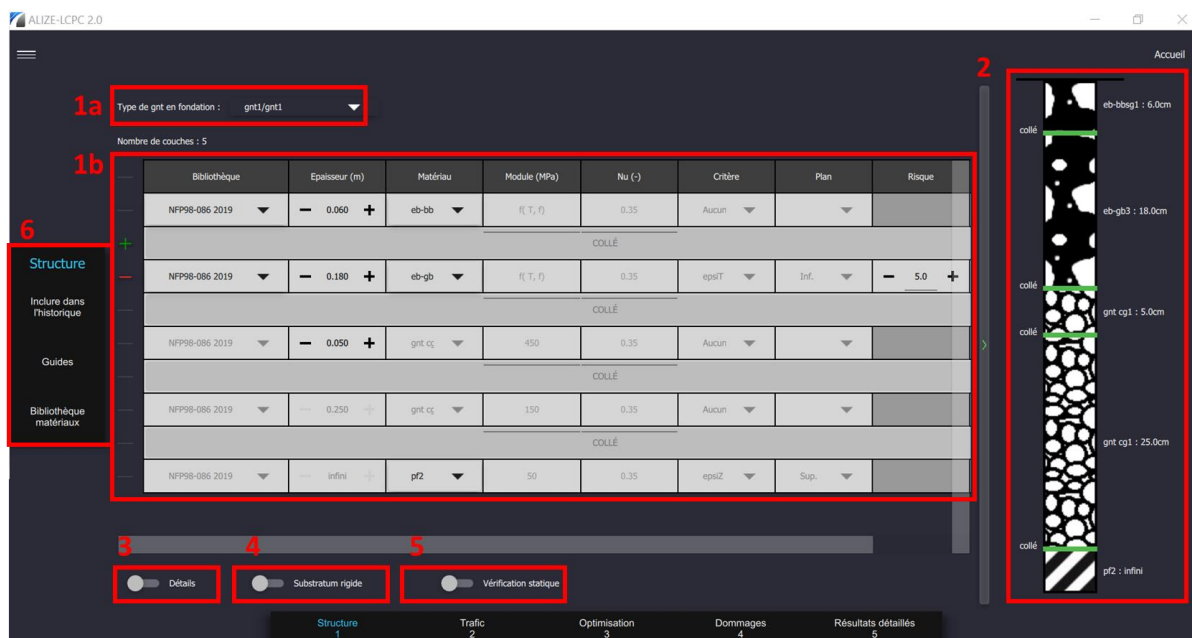


Figure 3.3 : vue globale de l'onglet *Structure*

3.2.2 Bibliothèque des matériaux

La bibliothèque des matériaux constitue une aide au choix des matériaux des couches de structure en fournissant les valeurs des différents paramètres mécaniques.

Pour ce faire, l'utilisateur dispose de quatre bibliothèques (Figure 3.4, **cadre rouge n°1 en haut à gauche**) :

- Le catalogue 1998 (première bibliothèque proposée dans Alizé-LCPC®, fournie dans le cadre du guide de dimensionnement des chaussées[9]) ;
- La bibliothèque issue de la norme NF P98-086 de 2011 ;
- La bibliothèque issue de la norme NF P98-086 de 2019 [1] ;
- La bibliothèque « aéro » contenant les matériaux de type bétons bitumineux aéronautiques (BBA).



D'une bibliothèque à l'autre, un matériau peut changer de nom et/ou de propriétés mécaniques.



L'utilisation de la bibliothèque de matériaux issue de la dernière norme en vigueur [1] est recommandée.



Dans le sous-module *Dimensionnement neuf*, seules deux bibliothèques sont autorisées, à savoir la bibliothèque issue de la norme de 2019 [1] et la bibliothèque « aéro ». Les autres bibliothèques sont affichées à titre informatif.

Après avoir sélectionné l'une de ces bibliothèques, l'utilisateur peut rechercher un matériau en parcourant les différentes familles disponibles à l'aide de la barre d'onglet (**cadre rouge n°2 en bas**).

Bibliothèque des matériaux

Bibliothèque : Catalogue 1998 Charger

1

Température (°C) : - 15 +

Fréquence (Hz) : - 10 +

3

Variations E(10Hz) = f(température)

Statut	Nom	E (MPa)	nu	Epsi6 (10°C)	-1/b	SN	Sh (m)	Kc	T= -10°C	T= 0°C	T= 10°C	T= 20°C	T= 30°C	T= 40°C
system	bb	5400	0.35	100	5	0.25	standard	1.1	14800	12000	7200	3600	1300	1000
system	bbdr	3000	0.35	-	-	-	standard	-	8220	6670	4000	2000	720	560
system	bbme	9000	0.35	-	-	-	standard	-	24670	20000	12000	6000	2170	1670
system	gb1	7000	0.35	70	5	0.4	standard	1.3	18000	14000	9000	5000	2000	800
system	gb2	9300	0.35	80	5	0.3	standard	1.3	23000	18800	12300	6300	2700	1000
system	gb3	9300	0.35	90	5	0.3	standard	1.3	23000	18800	12300	6300	2700	1000
system	gb4	11000	0.35	100	5	0.3	standard	1.3	27200	22240	14550	7450	3190	1180
system	eme1	14000	0.35	100	5	0.3	standard	1	30000	24000	17000	11000	6000	3000
system	eme2	14000	0.35	130	5	0.25	standard	1	30000	24000	17000	11000	6000	3000

2

bitumineux mtlh et stlh béton gnt et snt

Figure 3.4 : caractéristiques des matériaux de la bibliothèque

Par ailleurs, l'option *Charger* (**cadre rouge n°3 en haut à droite**) permet d'importer une ou plusieurs bibliothèques « utilisateur » à partir d'un fichier nécessitant une syntaxe bien définie, dont la description est donnée dans l'annexe A1.

Toute ligne sélectionnée dans le tableau apparaît en bleu (Figure 3.5) :

Statut	Nom	E (MPa)	nu	Epsi6 (10°C)	-1/b	SN	Sh (m)	Kc
system	eb-bbsg1	5500	0.35	100	5	0.25	standard	1.1
system	eb-bbsg2	7000	0.35	100	5	0.25	standard	1.1
Enrobé bitumineux bb semi-grenu classe2				100	5	0.25	standard	1.1
system	eb-bbme1	9000	0.35	100	5	0.25	standard	1.1

Figure 3.5 : sélection d'un matériau et visualisation de son intitulé détaillé

L'intitulé détaillé des matériaux peut être observé dans les infobulles apparaissant au passage de la souris au-dessus de chaque élément de la colonne *Nom* (Figure 3.5).

Pour les matériaux bitumineux, il est possible de faire varier les températures et les fréquences et d'en observer les conséquences dans le tableau sur le module d'élasticité E [MPa]. Dans la partie droite du tableau, la valeur de E est indiquée pour des valeurs de températures échelonnées et une fréquence constante de 10 Hz.

3.2.3 Tableau de données de structure

Une structure prédéfinie est présentée, avec 4 couches de matériaux (la couche de grave non traitée est divisée en sous-couches de 25 cm d'épaisseur maximale) dont les caractéristiques sont regroupées dans un tableau (Figure 3.6) affichant pour chaque couche :

- le matériau la constituant et la bibliothèque d'origine (par défaut la bibliothèque correspondant à la norme 2019 est retenue) ;
- son épaisseur H ;
- son module élastique E et son coefficient de Poisson ν ;
- les critères de calcul et le plan sur lequel ils sont appliqués : critère de fatigue EpsiT à la base des enrobés (à la base de la couche de base) et critère de déformation permanente EpsiZ au sommet sur sol support ;
- le risque de calcul.

Type de gnt en fondation : gnt1/gr									
Nombre de couches : 5									
	Bibliothèque	Epaisseur (m)	Matériau	Module (MPa)	Nu (-)	Critère	Plan	Risque	Kc(RseR)
	NFP98-086 2019	0.060	eb-bbsg1	f(T, f)	0.35	Aucun			
	COLLÉ								
	NFP98-086 2019	0.180	eb-gb3	f(T, f)	0.35	epsiT	Inf.	5.0	gb3
	COLLÉ								
	NFP98-086 2019	0.050	gnt cg1	450	0.35	Aucun			
	COLLÉ								
	NFP98-086 2019	0.250	gnt cg1	150	0.35	Aucun			
	COLLÉ								
	NFP98-086 2019	infini	pf2	50	0.35	epsiZ	Sup.		

Figure 3.6 : tableau de données de l'onglet Structure



La qualité de l'interface entre deux couches successives est précisée dans le tableau de données. Dans le sous-module *Dimensionnement neuf*, toutes les interfaces sont considérées parfaitement collées. Ainsi, les interfaces sont grisées, de même que tous les autres paramètres non modifiables par l'utilisateur.

➤ Choix de la bibliothèque de matériaux

Afin de sélectionner le matériau constituant chaque couche, Alizé2® propose à l'utilisateur de choisir d'abord une bibliothèque de matériaux en cliquant sur le bouton de la colonne *Bibliothèque* et correspondant à la couche voulue. A partir de là, il pourra choisir le matériau désiré dans la colonne dédiée.

Trois options sont proposées (Figure 3.7) :

- la première bibliothèque est issue de la norme NF P98-086 de 2019 ;
- la seconde, *Aero*, contient les matériaux de type BBA ;
- si l'utilisateur a préalablement chargé une bibliothèque utilisateur (voir section 3.2.2), alors celle-ci apparaît en 3^{ème} choix dans le menu déroulant.

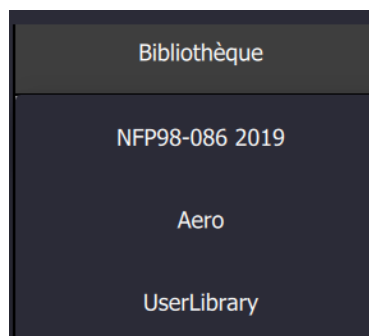


Figure 3.7 : choix d'une bibliothèque de matériaux

➤ Modification de l'épaisseur des couches

L'épaisseur d'une couche est une donnée modifiable. Les boutons + et – situés de part et d'autre des valeurs permettent d'augmenter ou de diminuer la valeur de base par pas de 1 cm. Ce paramètre peut également être modifié en saisissant la valeur au clavier. Pour cela, il suffit de cliquer sur le champ, puis de saisir la valeur souhaitée. Cette dernière est prise en compte en tapant sur la touche *Entrée* du clavier.

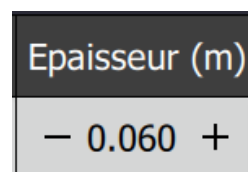


Figure 3.8 : modification de l'épaisseur d'une couche



La saisie au clavier permet d'affecter une valeur plus précise à l'épaisseur de la couche (précision au mm).



Dans le sous-module *Dimensionnement neuf*, l'épaisseur de la couche de roulement est limitée à une valeur minimale de 2 cm et une valeur maximale de 10 cm. L'épaisseur de la couche de liaison est limitée à un maximum de 10 cm. L'épaisseur de la couche de base est limitée à 40 cm maximum.



L'épaisseur totale de la couche de fondation est découpée en sous-couches d'épaisseur maximale égale à 25 cm [3].

➤ Choix du matériau

Lorsqu'une bibliothèque est choisie, la liste de ses matériaux devient disponible dans la colonne *Matériau*. Un matériau est automatiquement affecté à la couche en fonction de la bibliothèque choisie.

Pour modifier les matériaux bitumineux ou le sol support, l'utilisateur doit cliquer sur l'intitulé du matériau, faisant ainsi apparaître une liste de matériaux (Figure 3.9). L'utilisateur peut alors sélectionner le matériau correspondant à la couche.

Pour ce qui concerne les matériaux granulaires, le choix s'effectue via un bouton de contrôle différent des autres, identifié dans le **cadre rouge n°1a** de la Figure 3.3. Deux classes mécaniques sont proposées : GNT de classe C1 et GNT de classe C2 au sens de la norme NF EN 13286-7 [10] (identifiées dans le logiciel comme gnt1 et gnt2 respectivement). L'utilisateur sélectionne alors le type de GNT parmi les trois combinaisons proposées : gnt1, gnt2 ou gnt1/gnt2 (Figure 3.10).

Type de gnt en fondation : gnt1/gnt1

Matériau	Module (MPa)	Nu (-)	
eb-bbsg1	f(T, f)	0.35	A
eb-bbsg2	COLLÉ		
eb-bbsg3	f(T, f)	0.35	e
eb-bôme1	COLLÉ		
eb-bôme2	450	0.35	A
eb-bôme3	COLLÉ		
bbsm	150	0.35	A
bbtm	COLLÉ		
bbdr	50	0.35	e
acr	COLLÉ		
eb-gb2	200000	0.35	A
eb-gb3			
eb-gb4			
eb-eme1			
eb-eme2	ication statiq...		
sma	Trafic	Optimisation	

Figure 3.9 : choix d'un matériau bitumineux

Type de gnt en fondation :		gnt1/gnt1
		gnt1/gnt2
Matériau	Module (MPa)	gnt2/gnt2

Figure 3.10 : choix d'un matériau en couche de fondation

Alizé2® calcule alors automatiquement la valeur du coefficient de plateforme Ks conformément au paragraphe 2.7.2 du guide de dimensionnement [3]. De même, le module associé à chaque sous-couche de grave non traitée est automatiquement calculé par le logiciel, comme détaillé en Figure 3.11.

$H_{GNT,i-1} \times 0,25$	$E_i = \min\{K \times E_{i-1}, E\}$	$H_{GNT \text{ fondation}}$	
0,25 m	$E_2 = \min\{K \times E_1, E\}$		
0,25 m	$E_1 = \min\{K \times E_0, E\}$		
Plateforme module E_0			

Nom	E [MPa]	Nu	K
gnt1	600	0,35	3
gnt2	400	0,35	2,5

Figure 3.11 : schématisation du découpage de la GNT de fondation et calcul des modules associés à chaque sous-couche



Les matériaux bitumineux utilisables dans le domaine aéronautique ainsi que leurs caractéristiques sont détaillés dans les chapitres 5 et 6 du guide de dimensionnement [3].



Alizé2® permet à l'utilisateur de sélectionner soit de la gnt1, soit de la gnt2, soit une combinaison gnt1/gnt2. Seuls les deux premiers choix sont conseillés (cf. paragraphe 6.7.5 du guide de dimensionnement [3]). La combinaison gnt1/gnt2 est quant à elle réservée à des cas de forte épaisseurs (plus de 50 cm d'épaisseur de grave non traitée) : les 50 premiers centimètres sont en gnt1, tandis que les sous-couches sous-jacentes sont en gnt2.

➤ Ajout/suppression d'une couche

Il est possible d'ajouter ou de supprimer une couche à partir de la structure renseignée par défaut par le logiciel. Cette fonctionnalité concerne : l'ajout/la suppression d'une couche de liaison, et la suppression de la couche de base en enrobé.

❖ Ajout/suppression d'une couche de liaison

Il est possible d'ajouter une couche de liaison en cliquant sur le bouton avec le **symbole + vert** situé en regard de la couche de base, sur la gauche du tableau (Figure 3.12). La structure est alors automatiquement mise à jour tel que présenté en Figure 3.13. Pour supprimer la couche de liaison, il suffit de cliquer sur le **symbole – rouge** situé en regard de la couche de liaison, sur la gauche du tableau (Figure 3.13).

+	NFP98-086 201!	- 0.060 +	eb-bbsg
-	NFP98-086 201!	- 0.180 +	eb-gb3

Figure 3.12 : ajout/suppression d'une couche

Nombre de couches : 6

Bibliothèque	Epaisseur (m)	Matériau	Module (MPa)	Nu (-)	Critère	Plan	Risque	Kc(RseR)
Aero	- 0.060 +	eb-bba1	f(T, f)	0.35	Aucun			
COLLÉ								
-	NFP98-086 201!	- 0.100 +	eb-bbsg	f(T, f)	0.35	Aucun		
COLLÉ								
-	NFP98-086 201!	- 0.180 +	eb-gb3	f(T, f)	0.35	epsiT	Inf.	- 5.0 + gb3
COLLÉ								
	NFP98-086 201!	- 0.050 +	gnt cg1	450	0.35	Aucun		
COLLÉ								
	NFP98-086 201!	- 0.250 +	gnt cg1	150	0.35	Aucun		
COLLÉ								
	NFP98-086 201!	- infini +	pf2	50	0.35	epsiZ	Sup.	

Figure 3.13 : structure après ajout d'une couche de liaison

❖ Suppression de la couche de base en enrobé

Les paragraphes 1.2 et 2.6 du guide de dimensionnement [3] précisent que dans les cas où le trafic dimensionnant est faible et peu agressif vis-à-vis de la chaussée considérée, la couche de base peut être réalisée en matériaux granulaires.

La mise en œuvre de cette spécificité avec Alizé-Aéronautique® s'effectue simplement en supprimant la couche de base en enrobé. Pour ce faire, il suffit de cliquer sur le bouton avec le **symbole – rouge** situé en regard de la couche de base, sur la gauche du tableau (Figure 3.12).

Une fenêtre d'avertissement apparaît alors (Figure 3.14) :

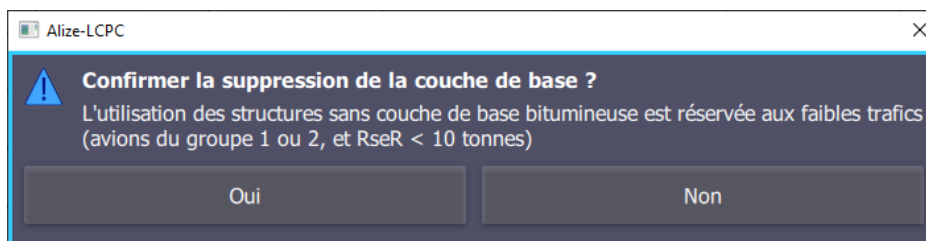


Figure 3.14 : fenêtre d'avertissement avant la suppression de la couche de base en enrobé

Si l'utilisateur sélectionne « Oui », alors la suppression de la couche de base en enrobé est confirmée et la structure est mise à jour sur le modèle présenté en Figure 3.15. Pour réintégrer la couche de base en enrobé, il suffit de cliquer sur le bouton avec le **symbole + vert** situé en regard de la couche, sur la gauche du tableau (Figure 3.15).

Nombre de couches : 4

	Bibliothèque	Epaisseur (m)	Matériau	Module (MPa)	Nu (-)	Critère	Plan
	NFP98-086 201!	- 0.060 +	eb-bbsg	$f(T, f)$	0.35	Aucun	
+	COLLÉ						
	NFP98-086 201!	- 0.050 +	gnt cg1	450	0.35	Aucun	
	COLLÉ						
	NFP98-086 201!	- 0.250 +	gnt cg1	150	0.35	Aucun	
	COLLÉ						
	NFP98-086 201!	- infini +	pf2	50	0.35	epsiZ	Sup.

Figure 3.15 : structure après suppression de la couche de base en enrobé

3.2.4 Schéma de la structure

Sur la partie droite de l'écran, un volet rabattable affiche le schéma de la structure de la chaussée en cours de définition, avec ses différentes couches (Figure 3.16).

Les couches sont séparées par des interfaces colorées, qui sont ici toujours considérée parfaitement collées et colorées en vert.

Chaque couche est illustrée par son nom et son épaisseur. Un graphisme représentant le type de matériau lui est également associé.

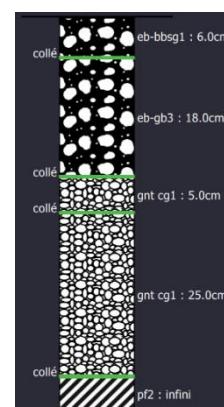


Figure 3.16 : schéma de la structure étudiée

3.2.5 Ajout d'un substratum peu profond

Dans le paragraphe 4.6.1 du guide de dimensionnement [3], il est précisé que si un substratum rigide se situe à une profondeur comprise entre 2 et 6 mètres, sa présence doit être prise en compte dans le modèle en divisant le massif support en deux couches. L'une de ces couches est d'épaisseur finie (correspondant à la profondeur de substratum comptée depuis l'arase de terrassement) et l'autre, représentant le substratum, est d'épaisseur infinie.

Pour ajouter un substratum rigide (Figure 3.17), il suffit de cliquer sur le bouton commutateur identifié dans le **cadre rouge n°4** de la Figure 3.3 *supra*.

Un nouveau clic sur ce bouton commutateur permettra à l'utilisateur de supprimer ce substratum et revenir à un massif support homogène de hauteur infinie.

Nombre de couches : 6

Bibliothèque	Epaisseur (m)	Matériau	Module (MPa)	Nu (-)	Critère	Plan	Risque	Kc(RseR)
NFP98-086 2011	- 0.060 +	eb-bbsg	f(T, f)	0.35	Aucun			
COLLÉ								
NFP98-086 2011	- 0.180 +	eb-gb3	f(T, f)	0.35	epsiT	Inf.	- 5.0 +	gb3
COLLÉ								
NFP98-086 2011	- 0.050 +	gnt cg1	450	0.35	Aucun			
COLLÉ								
NFP98-086 2011	- 0.250 +	gnt cg1	150	0.35	Aucun			
COLLÉ								
NFP98-086 2011	- 2.000 +	pf2	50	0.35	epsiZ	Sup.		
COLLÉ								
Autre	- infini +	SR	200000	0.35	Aucun			

Figure 3.17 : structure avec substratum rigide peu profond

3.2.6 Vérification spécifique au dimensionnement d'une aire de stationnement ou d'attente

D'après le paragraphe 3.2.4 du guide de dimensionnement [3], pour le dimensionnement des aires de stationnement ou d'attente, un calcul complémentaire doit être effectué dans lequel les matériaux hydrocarbonés de la couche de surface et de la couche de base seront modélisés par une grave non traitée associée à un module de 800 MPa. Le paramètre K de la loi de fatigue du critère de déformation permanente de la plateforme est porté à 24 000 (au lieu de 16 000 pour un dimensionnement classique). Il convient alors de vérifier que l'endommagement associé à ce critère reste inférieur à 1 avec les mêmes hypothèses de trafic.

Pour transposer la structure en vue d'effectuer une vérification statique spécifique au dimensionnement des aires de stationnement et d'attente, l'utilisateur doit cliquer sur le bouton commutateur identifié dans le **cadre rouge n°5** de la Figure 3.3 *supra*. La structure est alors automatiquement modifiée pour tenir compte des changements imposés par la méthode rationnelle de dimensionnement des chaussées aéronautiques souples (Figure 3.18) :

- les matériaux bitumineux sont remplacés par des matériaux nommés « MB GNT » (pour matériaux bitumineux assimilés à une GNT) de module égal à 800 MPa (**cadre rouge n°1**) ;

Nombre de couches : 5

Bibliothèque	Epaisseur (m)	Matériau	Module (MPa)	Nu (-)	Critère	Plan	Risque	Kc(RseR)	sig6/eps6/A
Autre	- 0.060 +	MB GNT	800	0.35	Aucun				
COLLÉ									
Autre	- 0.180 +	MB GNT	800	0.35	Aucun				
COLLÉ									
NFP98-086 2011	- 0.050 +	gnt cg1	450	0.35	Aucun				
COLLÉ									
NFP98-086 2011	- 0.250 +	gnt cg1	150	0.35	Aucun				
COLLÉ									
NFP98-086 2011	- infini +	pf2	50	0.35	epsiZ	Sup.			24000

Figure 3.18 : transposition de la structure en vue d'effectuer une vérification statique

- le coefficient K de la loi de fatigue est égal à 24 000 (cadre rouge n°2) ;
- seul le critère EpsiZ (critère de déformation permanente au sommet du sol support) est conservé (cadre rouge n°3).

3.2.7 Aides logiciel de l'onglet *Structure*

Les aides logiciel pour l'onglet *Structure* sont accessibles en cliquant sur le bouton *Guides* du menu vertical en accès direct situé à gauche de la fenêtre (voir section 3.2.1 *supra*). Un document .pdf composé de quatre parties s'ouvre alors (Figure 3.19) :

- la première partie recense des extraits du GAN [4] et du guide de dimensionnement [3] relative au choix des produits à mettre en œuvre sur chaque couche, ainsi que les épaisseurs minimales et moyennes recommandées ;
- la seconde partie reprend les éléments du guide de dimensionnement [3] permettant de choisir un risque de calcul ;
- la troisième partie résume les éléments essentiels extraits du guide de dimensionnement [3] en vue d'effectuer une vérification spécifique dans le cadre du dimensionnement d'une aire de stationnement ou d'attente ;
- la quatrième et dernière partie donne des indications sur la prise en compte d'un substratum rigide peu profond conformément au guide de dimensionnement [3].

Aides logiciel – Alizé2	
Matériaux et structures de chaussées aéronautiques	
	 
Table des matières	
1. Produits utilisables sur chaussées aéronautiques.....	2
1.1. Couche de roulement.....	2
1.2. Couche de liaison et de reprofilage.....	2
1.3. Couche d'assise.....	3
1.4. Catégorie de GNT utilisable en couche de forme.....	3
1.5. Epaisseurs moyennes et minimales.....	4
1.6. Epaisseur minimale de la couche de base.....	5
2. Choix du risque de calcul.....	6
3. Vérification sous charges statiques, spécifique aux aires de stationnement et d'attente.....	6
4. Prise en compte d'un substratum rigide.....	7

Figure 3.19 : liste des aides logiciel disponibles à l'onglet *Structure*

3.2.8 Inclusion des données dans l'historique et export

Il est possible d'enregistrer les sélections réalisées et résultats obtenus au cours du dimensionnement dans un fichier texte. Pour ce faire, le bouton *Inclure dans l'historique* est le plus souvent présent dans le menu vertical à gauche de la fenêtre d'Alizé2®.



Ce fichier permet le traçage de l'activité, pour comparer plusieurs solutions, évaluer des variantes etc. Le résultat est facilement exploitable pour récupérer des données dans un tableur par exemple.

➤ Principe

Le fichier, unique et indépendant de l'onglet consulté, est créé lors de la première requête *Inclure dans l'historique*. Chaque clic sur *Inclure dans l'historique* provoque l'enregistrement d'une séquence de données associées à l'onglet courant, à la suite de la séquence précédente.

A la fermeture d'Alizé2®, le fichier conserve les informations enregistrées et pourra être complété lors des sessions suivantes.



Chaque clic sur le bouton *Inclure dans l'historique* enregistre les informations de l'onglet courant dans le fichier, qu'il y ait eu ou non d'autres actions de l'utilisateur dans le logiciel depuis le clic précédent.

➤ Emplacement et format

Ce fichier se nomme *historique.log* et peut se lire avec divers éditeurs de texte (Notepad ou Bloc-notes par exemple). Il est enregistré (voir section 5) :

- dans le même dossier que le projet si celui-ci a été défini ;
- sinon à l'emplacement des documents de l'utilisateur :

C:\Utilisateurs\<nom de session Windows de l'utilisateur>\Documents

Le fichier n'est jamais supprimé, vidé de son contenu ou déplacé automatiquement par Alizé2®, mais ces actions peuvent être réalisées par l'utilisateur.

➤ Structure du fichier

Chaque séquence a une structure définie, avec (Figure 3.20) :

- un titre : Alize 2 Aéronautique ;
- un sous-titre : un nom correspondant à l'onglet courant (*Structure*, *Trafic*, ou *Optimisation*) ;
- un horodatage de la séquence : jj/mm/aaaa à hh:mm:ss ;
- une suite de paramètres *titre / valeur* dont le nombre et la forme varient selon l'onglet associé (toutes les données utiles de l'onglet sont enregistrées).

```
1 Alize 2 Aéronautique
2 Structure
3
4 19/07/2021 à 11:41:06
5 Structure Aero
6 Nombre de couches : 5
7 épaisseur matériau module nu type mat bibliothèque mat code biblio index bdd mat température fréquence interface inférieure
8 0.060 eb-bbsgl 7315 0.350 bitum NFP98-086 2019 3 0 1
9 0.180 eb-gb3 9000 0.350 bitum NFP98-086 2019 3 11 1
10 0.250 gnt cgl 450 0.350 gntSo NFP98-086 2019 3 0 1
11 0.250 gnt cgl 150 0.350 gntSo NFP98-086 2019 3 0 1
12 infini pf2 50 0.350 plateForme NFP98-086 2019 3 6 1
13 Nombre de variantes : 0
14 Code de variante (0: pas de variante, 1: épaisseur, 2: module E) : 0
15 1
16
17 Alize 2 Aéronautique
18 Trafic
19
20 19/07/2021 à 11:41:10
21 Nombre d'avions : 4
22 avion index marque index modele index type type masse masse NbMvtU NbMvtT MvtUnit Taux Acc Balayage Vitesse TetaEq
23 0- Militaires A 400M LNI 11 0 1 1 137900 5 18263 0 0 0.75 100 15
24 1- Airbus A350 900 0 8 0 1 280900 5 18263 0 0 0.75 100 15
25 2- Boeing B777 200 ER 3 8 3 1 287800 3 10958 0 0 0.75 100 15
26 3- ATR ATR 42 200 2 0 0 1 21530 10 36525 0 0 0.75 100 15
27 1
```

Figure 3.20 : exemple de fichier historique.log



Les séquences successives insérées à chaque clic sur le bouton *Inclure dans l'historique* ne sont séparées par aucune interligne.

3.3 Définition du trafic (onglet *Trafic*)

3.3.1 Configuration générale de l'onglet *Trafic*

Le second onglet est consacré à la définition du trafic aéronefs. L'apparence générale de l'onglet *Trafic*, illustrée par la Figure 3.21, se compose de :

- une zone de renseignement de la période de calcul (**cadre rouge n°1**), par défaut renseignée à 10 ans (correspondant à la période de dimensionnement classique des chaussées souples aéronautiques) ;
- un tableau de données (**cadre rouge n°2**) permettant de renseigner le trafic à considérer, composé de :
 - o une zone de sélection des aéronefs, organisés par constructeur, modèle et type ;
 - o une zone de renseignement de la masse des aéronefs ;
 - o une zone de renseignement du nombre de mouvements des aéronefs ;
 - o une zone de renseignement des autres données de trafic (balayage, vitesse et température équivalente) ;
 - o une zone précisant automatiquement le groupe de l'aéronef ;
 - o une zone permettant de sélectionner/désélectionner les aéronefs à visualiser.
- un bouton commutateur permettant d'afficher/masquer les données relatives au nombre de mouvements des aéronefs (**cadre rouge n°3**) ;
- un bouton commutateur permettant d'afficher/masquer les autres données de trafic (**cadre rouge n°4**) ;
- la configuration des atterrisseurs de l'aéronef sélectionné, affiché en bleu dans le tableau de données (**cadre rouge n°5**), trois boutons permettant respectivement d'afficher/masquer les roues de l'aéronef sélectionné, les axes de roulement et les roulettes de nez pour cet aéronef ;

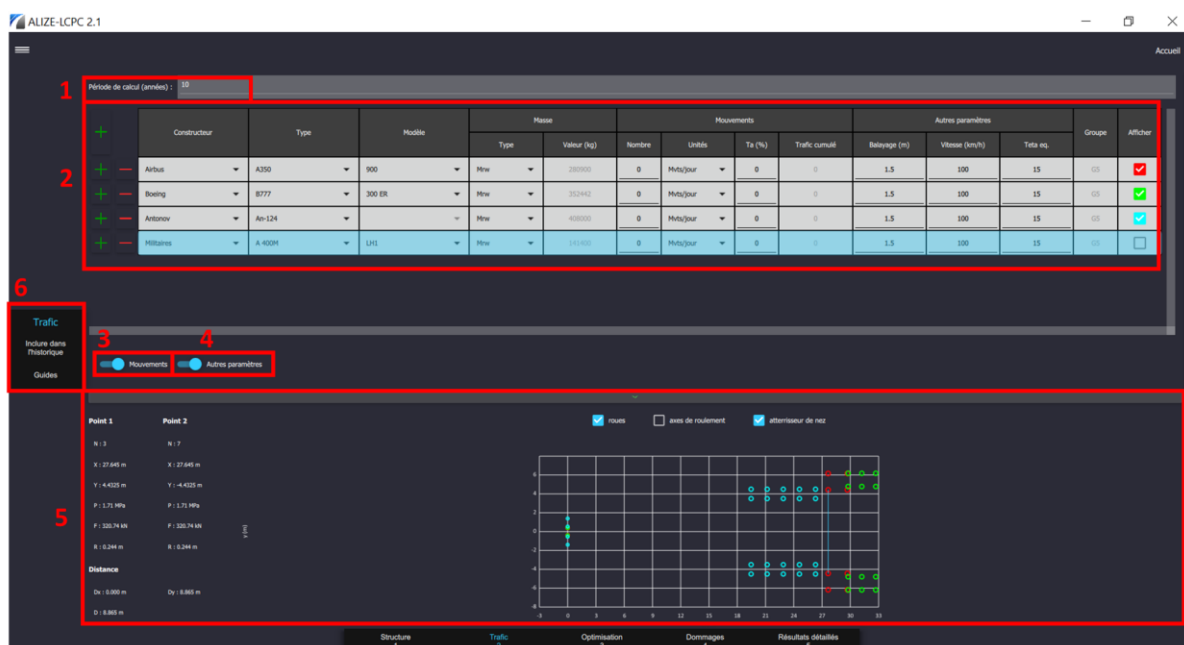


Figure 3.21 : vue globale de l'onglet *Trafic*

- un menu vertical, en accès direct, à gauche (**cadre rouge n°6**), permettant à l'utilisateur de :
 - o inclure les données de trafic dans l'historique en cliquant sur *Inclure dans l'historique* (voir la section 3.2.8 *supra* sur l'export des données vers le fichier d'historique) ;

- accéder à l'aide logiciel pour cet onglet en cliquant sur *Guides* (voir la section 3.3.3 *infra* sur les aides logiciels pour cet onglet).



Le schéma de la structure renseignée à l'onglet précédent apparaît sous forme de volet à droite de l'écran et peut être affiché/masqué à tout moment par l'utilisateur.

3.3.2 Tableau de données de trafic

Lors de l'ouverture d'Alizé2® la base de données avions du STAC est automatiquement chargée.

➤ Sélection des aéronefs

La sélection des aéronefs du trafic projet s'effectue alors par constructeur, type et modèle d'avions (Figure 3.22). Le menu déroulant *Constructeur* permet de sélectionner la marque de l'avion souhaité. Le menu déroulant *Type* recense tous les modèles disponibles pour le constructeur sélectionné. Enfin le menu déroulant *Modèle* permet de sélectionner le modèle souhaité.

Pour ajouter ou ôter un avion du trafic projet, il suffit de cliquer respectivement sur le **symbole + vert** ou le **symbole – rouge** situés en regard de chaque aéronef, sur la gauche du tableau de données de trafic (Figure 3.22). Lorsqu'un avion est sélectionné, il apparaît en bleu dans le tableau de données.

	Constructeur	Type	Modèle	Masse		Mouvements			Autres paramètres			
				Type	Valeur (kg)	Nombre	Unités	Ta (%)	Trafic cumulé	Balayage (m)	Vitesse (km/h)	Teta eq.
+	Airbus	A350	900	Mrw	280900	0	Mvts/jo	0	0	1.5	100	15
+	Antonov	B777	300 ER	Mrw	352442	0	Mvts/jo	0	0	1.5	100	15
+	ATR	An-124	-	Mrw	408000	0	Mvts/jo	0	0	1.5	100	15
+	Boeing	A 400M	LH1	Mrw	141400	0	Mvts/jo	0	0	1.5	100	15
-	Bombardier											
-	Embraer											
-	Fokker											
-	Gulfstream											
-	Helico											
-	Ilyushin											
-	Mc Donnell Douglas											
-	Militeires											
-	Seab											
-	Tupolev											
-	Autres											
-	Swire											

Figure 3.22 : sélection des aéronefs du trafic

En-dessous du tableau de données, la configuration des atterrisseurs de l'avion sélectionné apparaît (Figure 3.23). Des informations sur le rayon, la pression, la localisation des roues peuvent être affichées en cliquant sur les roues dans l'onglet de visualisation. Lorsque deux roues sont sélectionnées, la distance en x et en y entre ces deux roues est automatiquement affichée.

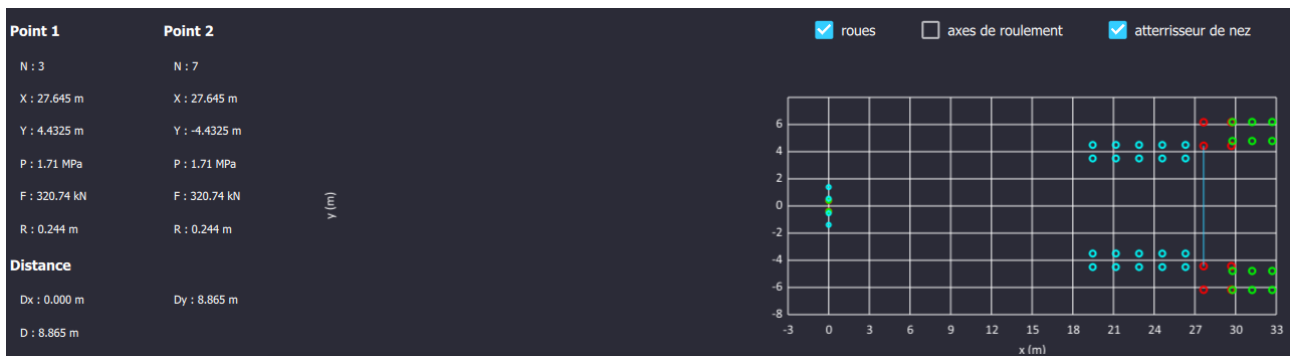


Figure 3.23 : visualisation de la configuration des atterrisseurs de l'aéronef sélectionné



Pour afficher rapidement les coordonnées d'une roue, l'utilisateur peut passer la souris sur la roue en question. Alizé2® affiche alors automatiquement le numéro de la roue et ses coordonnées en x et en y.

➤ Renseignement de la masse

Plusieurs masses sont fournies par les constructeurs d'aéronefs et peuvent être sélectionnées en cliquant sur le menu déroulant *Type* (Figure 3.24) :

- la masse maximale pour les évolutions au sol portée au certificat de navigabilité (ou masse maximale au roulage Mrw), correspondant à la masse maximale de l'avion acceptable pendant les manœuvres au sol sur les aires de trafic ;
- la masse maximale au décollage (Mtow) portée au certificat de navigabilité, correspondant à la masse maximale de l'avion acceptable au décollage ;
- la masse maximale à l'atterrissage (Mlw) portée au certificat de navigabilité, correspondant à la masse maximale de l'avion acceptable à l'atterrissage ;
- la masse « autre », qui est une masse différente des trois précédentes, renseignée manuellement par l'utilisateur.

Masse	
Type	Valeur (kg)
Mrw ▼	280900
Mrw ▼	352442
Autre	408000
Mrw	141400
Mtow	
Mlw	

Figure 3.24 : renseignement de la masse des aéronefs



Comme indiqué au chapitre 3.1.2.2 du guide de dimensionnement [3], à défaut d'informations plus précises, on utilisera les masses constructeur : masse maximale au décollage et masse maximale à l'atterrissage dans le cas d'une piste, et masse maximale au roulage dans le cas d'un parking ou d'un taxiway (circulation sur taxiway pour regagner la piste avant le décollage).



Le logiciel n'autorise que les masses réalistes. Aussi, dans le cas où l'utilisateur sélectionne une masse « autre », il doit veiller à ce que la masse renseignée soit comprise entre la masse à vide opérationnelle et la masse maximale au roulage.

➤ Renseignement du nombre de mouvements

Le nombre de mouvements est un paramètre à définir pour chaque avion. Plusieurs choix s'offrent à l'utilisateur pour renseigner le nombre de mouvements des avions (Figure 3.25) :

- nombre de mouvements par jour (Mvts/jour) ;
- nombre de mouvements par semaine (Mvts/semaine) ;
- nombre de mouvements par mois (Mvts/mois) ;
- nombre de mouvements par année (Mvts/année) ;
- nombre de mouvements cumulés (Mvts cumulés) sur toute la durée de calcul.

Mouvements			
Nombre	Unités	Ta (%)	Trafic cumulé
0	Mvts/jo	0	0
0	Mvts/jo	0	0
0	Mvts/jour	0	0
0	Mvts/semaine	0	0
	Mvts/mois		
	Mvts/année		
	Mvts cumulés		

Figure 3.25 : renseignement du nombre de mouvements des aéronefs

Dans les cas où les nombres de mouvements sont renseignés par jour, par semaine, par mois ou par année, il convient de bien indiquer la période de calcul (**cadre rouge n°1** de la Figure 3.21) et de renseigner éventuellement un taux d'accroissement (« Ta(%) »). Alors, le trafic cumulé pour chaque aéronef est automatiquement mis à jour.

A noter que le nombre de mouvements cumulé/par jour/par semaine/par mois ou par année est indépendant d'un aéronef à l'autre.

➤ Renseignement des autres paramètres de trafic : balayage, vitesse et température équivalente

Les paramètres de balayage, vitesse et température équivalente doivent être renseignés (Figure 3.26). Par défaut, les valeurs fixées correspondent à une section circulée à vitesse élevée (vitesse de 100 km/h et 1,5 m de balayage) située en France métropolitaine (température équivalente de 15°C). Ces données doivent être modifiées manuellement par l'utilisateur conformément à la localisation géographique de son projet, et à l'aire à dimensionner.

Autres paramètres		
Balayage (m)	Vitesse (km/h)	Teta eq.
1.5	100	15
1.5	100	15
1.5	100	15
1.5	100	15

Figure 3.26 : renseignement des autres paramètres de trafic (balayage, vitesse et température équivalente)



Lors de la constitution du trafic, les paramètres renseignés pour l'aéronef sélectionné (apparaissant en bleu) sont appliqués à l'aéronef ajouté. Cette astuce permet de ne pas avoir à modifier pour chaque avion des conditions de vitesse/balayage/ température équivalente qui seraient les mêmes.



Pour renseigner les valeurs de vitesse/balayage/température équivalente correspondant à son projet, l'utilisateur doit se reporter aux paragraphes 3.1.3, 3.1.4 et à l'annexe D du guide de dimensionnement [3].

3.3.3 Aides logiciel de l'onglet *Trafic*

Les aides logiciel pour l'onglet *Trafic* sont accessibles en cliquant sur le bouton *Guides* du menu vertical en accès direct situé à gauche de la fenêtre (voir section 3.3.1 *supra*). Un document .pdf composé de deux parties s'ouvre alors (Figure 3.27) :

- la première partie synthétise les éléments permettant d'identifier le niveau de sollicitation, à partir des groupes avions et de la classe de trafic, conformément à la méthodologie détaillée dans le GAN [4] ;
- la seconde partie reprend les éléments essentiels pour la détermination des paramètres de vitesse, balayage et température équivalente, conformément aux recommandations du guide de dimensionnement [3] et du GAN [4].

Aides logiciel – Alizé2
Trafics aéronautiques




Table des matières

1. Groupes d'avions, classes de trafic et niveaux de sollicitation	2
1.1. Détermination du groupe d'un avion	2
1.2. Détermination des classes de trafic	2
1.3. Détermination des niveaux de sollicitation	2
2. Choix des conditions de roulage	3
2.1. Vitesse et balayage transversal des avions	3
2.2. Température équivalente	3

Figure 3.27 : liste des aides logiciel disponibles à l'onglet Trafic

3.4 Optimisation de la structure de chaussée (onglet *Optimisation*)

3.4.1 Configuration générale de l'onglet *Optimisation*

Le troisième onglet permet d'optimiser la structure initiale (renseignée dans l'onglet *Structure*). L'apparence générale de l'onglet *Optimisation*, illustrée par la Figure 3.28, se compose de :

- une zone de sélection de la couche à optimiser (**cadre rouge n°1**), permettant de sélectionner :
 - o la couche à optimiser ;
 - o les épaisseurs maximale et minimale à considérer lors de l'optimisation.
- une zone de définition de l'objectif d'optimisation (**cadre rouge n°2**) permettant de sélectionner :
 - o le critère d'optimisation : critère de fatigue des enrobés ou de déformation permanente au sommet du sol support ;
 - o le dommage maximal cible, par défaut fixé à 1.

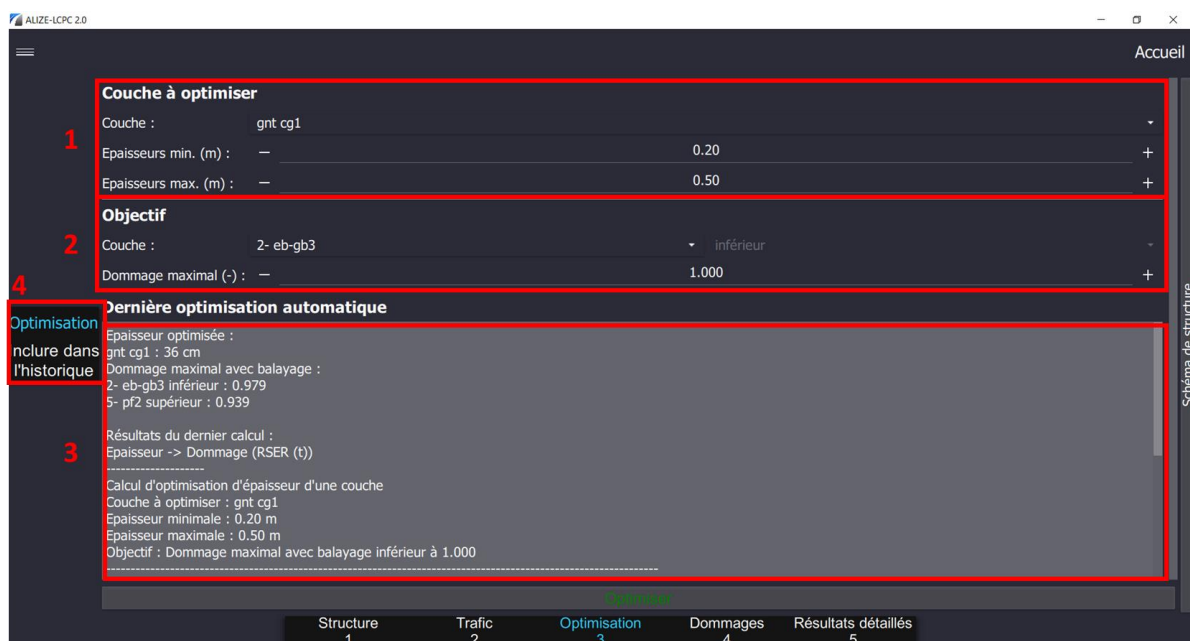


Figure 3.28 : vue globale de l'onglet *Optimisation*

- une zone présentant les derniers calculs d'optimisation réalisés (**cadre rouge n°3**) ;
- un menu vertical, en accès direct, à gauche (**cadre rouge n°4**), permettant à l'utilisateur d'inclure les données d'optimisation dans l'historique en cliquant sur *Inclure dans l'historique* (voir la section 3.2.8 *supra* sur l'export des données vers le fichier d'historique).



Le schéma de la structure renseignée à l'onglet *Structure* (avant lancement des calculs d'optimisation) ou le schéma de la structure optimisée (après optimisation) apparaît sous forme de volet à droite de l'écran et peut être affiché/masqué à tout moment par l'utilisateur.

3.4.2 Sélection des paramètres d'optimisation

➤ Sélection de la couche à optimiser

Conformément à la méthode rationnelle de dimensionnement des chaussées souples aéronautiques [3], l'utilisateur fait le choix d'optimiser soit la couche de fondation en matériaux granulaires, soit la couche de base (Figure 3.29). Alizé2® permet à l'utilisateur de fixer des bornes minimale et maximale qu'il respectera lors du processus itératif.

Couche à optimiser	
Couche :	eb-gb3
Epaisseurs min. (m) :	gnt cg1 0.00
Epaisseurs max. (m) :	0.30

Figure 3.29 : sélection de la couche à optimiser

➤ Définition de l'objectif d'optimisation

L'utilisateur définit ensuite l'objectif d'optimisation en fixant l'un des deux critères de dimensionnement (fatigue à la base des enrobés ou déformation permanente au sommet du sol support) comme critère d'optimisation cible (Figure 3.30). L'utilisateur définit ensuite le dommage maximal pour ce critère. Par défaut, la valeur du dommage maximal est prise égale à 1.

Objectif	
Couche :	2- eb-gb3
Dommage maximal (-) :	5- pf2 1.000

Figure 3.30 : définition de l'objectif d'optimisation

3.4.3 Lancement du calcul d'optimisation

➤ Lancement des calculs et suivi des itérations successives

L'utilisateur lance les calculs d'optimisation en cliquant sur le bouton *Optimiser*, qui apparaît au bas de la fenêtre d'optimisation (Figure 3.28). une fenêtre de calcul s'ouvre alors (Figure 3.31). Ainsi, à tout moment au cours du processus itératif, Alizé2® indique l'épaisseur en cours d'analyse, fait le rappel des critères d'optimisation faits par l'utilisateur, et affiche la synthèse des itérations précédentes (épaisseur analysée, dommage maximum atteint pour le critère cible et valeur de la RseR associée).

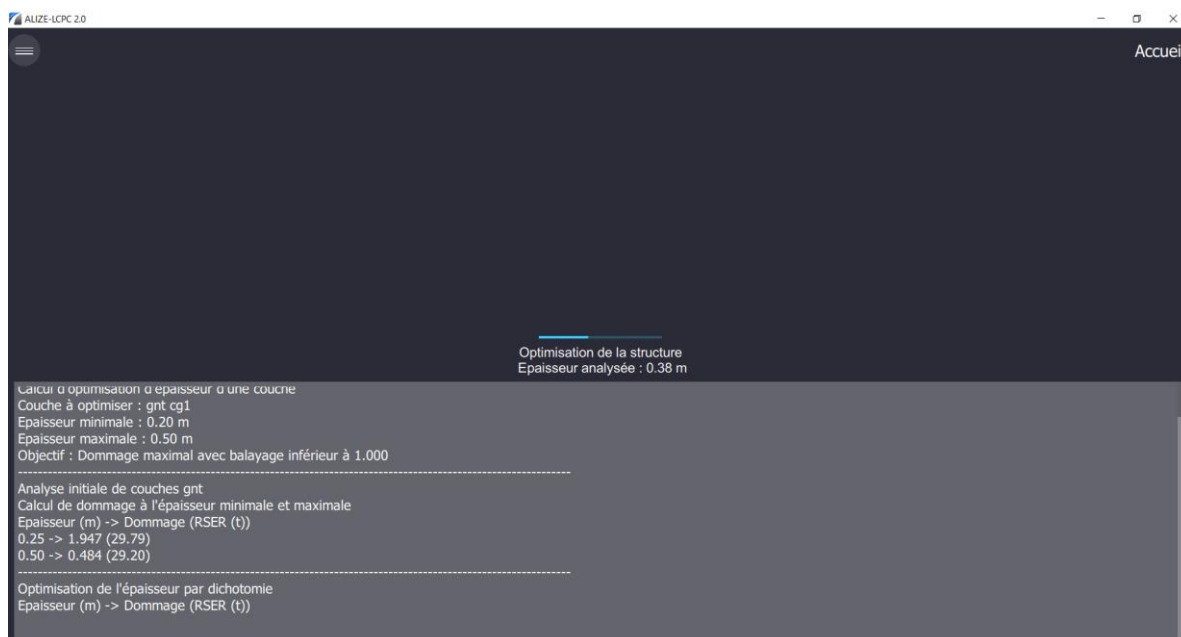


Figure 3.31 : vue de la fenêtre de calcul lors de l'optimisation de la structure

➤ Fin de l'optimisation

A la fin du processus itératif, Alizé2® revient sur la configuration générale de l'onglet *Optimisation* et affiche les résultats des calculs successifs réalisés dans la fenêtre identifiée par le **cadre rouge n°3** sur la Figure 3.28.

Dans le cas où l'optimisation aurait conduit à un dommage supérieur à 1 pour au moins l'un des deux critères, alors les valeurs de dommages correspondant à l'épaisseur finale figurent en rouge et un message d'avertissement apparaît alors au bas de la fenêtre (Figure 3.32).

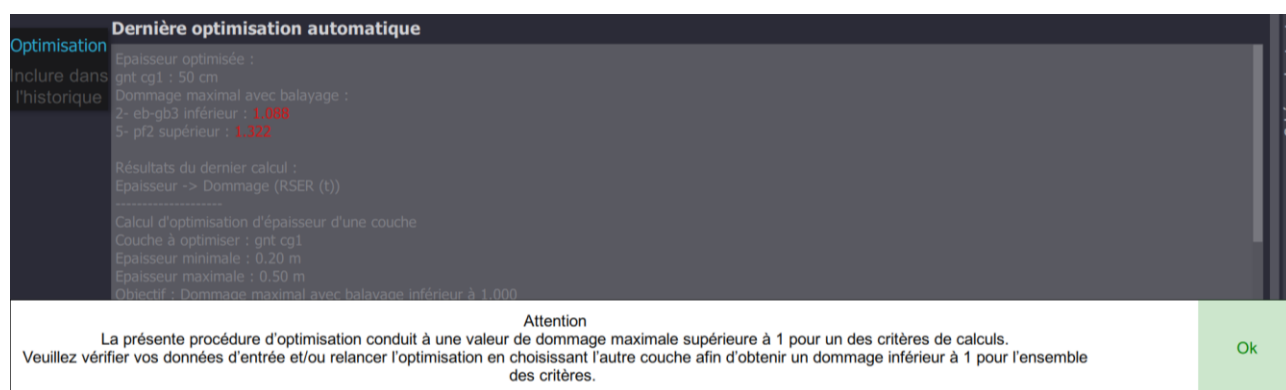


Figure 3.32 : message d'alerte en cas de non-respect d'un ou de plusieurs critères d'optimisation (dommages > 1)



A la fin de l'optimisation, la structure est automatiquement mise à jour en tenant compte de l'épaisseur optimisée et est gardée en mémoire par le logiciel pour toute la suite des calculs. L'utilisateur peut inclure les résultats du processus d'optimisation dans son historique afin de les garder en mémoire.

3.5 Calculs de dommages (onglet *Dommages*)

3.5.1 Configuration générale de l'onglet *Dommages*

Le quatrième onglet permet de réaliser un calcul simple de dommages à partir de la structure initiale (renseignée dans l'onglet *Structure*), ou de la structure optimisée (lorsque l'utilisateur a lancé un calcul d'optimisation). L'apparence générale de l'onglet *Dommages*, illustrée par la Figure 3.33, se compose de :

- un bouton commutateur permettant de tenir compte ou non du balayage (**cadre rouge n°1**) ;
- une zone de sélection des critères à prendre en compte pour l'affichage des courbes (**cadre rouge n°2**) :
 - o courbes de dommage pour le critère de fatigue à la base des enrobés (2-eb) ;
 - o courbes de dommage pour le critère de déformation permanente au sommet du sol support (5-pf).
- une zone de sélection des courbes à afficher (**cadre rouge n°3**) : dommages cumulés et/ou dommage par avion ;
- une zone de visualisation des atterrisseurs des avions sélectionnés, ainsi qu'un volet de paramétrage permettant d'afficher/masquer les roues des avions et les axes de roulement (**cadre rouge n°4**) ;
- une zone de visualisation des courbes sélectionnées (**cadre rouge n°5**) ;
- la valeur de la RseR ainsi qu'un bouton renvoyant vers la documentation utilisateur relative à la méthode de calcul de la RseR (**cadre rouge n°6**).
- un bouton permettant à l'utilisateur d'exporter les données de dommages pour les courbes sélectionnées (**cadre rouge n°7**).



Figure 3.33 : configuration générale de l'onglet *Dommages*



La courbe identifiée par la mention Courbe 1 figurera toujours sur le graphe (cadre rouge n°5 *supra*) en trait plein, tandis que la courbe identifiée par la mention Courbe 2 figurera en pointillés.

L'utilisateur a à sa disposition différents moyens de mieux visualiser les courbes :



- en passant la fenêtre en plein écran, les polices s'agrandissent alors automatiquement ;
 - en utilisant la molette de la souris pour zoomer et dézoomer sur une région particulière ;
 - en utilisant la molette de la souris pour zoomer et dézoomer sur un axe ;
 - en déplaçant le graphe par un cliqué-glissé.
-

3.5.2 Paramètres d'affichage des courbes à visualiser

Chaque courbe se voit attribuer une couleur selon un ordre donné : rouge, vert, bleu, orange, rose, etc. (cadre n°3 de la Figure 3.33). Si une courbe est décochée, la couleur qui lui était affectée sera attribuée à la prochaine courbe sélectionnée.

Il est possible de modifier la couleur d'une courbe en cliquant sur le rectangle-échantillon correspondant à la courbe dans la partie gauche. Une fenêtre apparaît alors (Figure 3.34). Pour définir la nouvelle couleur, l'utilisateur doit d'abord agir sur la réglette horizontale afin de choisir la gamme de couleur principale, puis bouger le curseur sur la partie rectangulaire colorée pour affiner la luminosité.

Plus simplement, l'utilisateur peut saisir la valeur hexadécimale correspondant à la couleur voulue dans le rectangle de saisie et d'affichage, en bas à gauche. Le code comprend obligatoirement un symbole # pour commencer. Ensuite, les deux premiers caractères correspondent au niveau de rouge, les deux suivants au niveau de vert et les deux derniers au niveau de bleu (codage RVB). Ce code peut être copié et collé d'une courbe à l'autre.

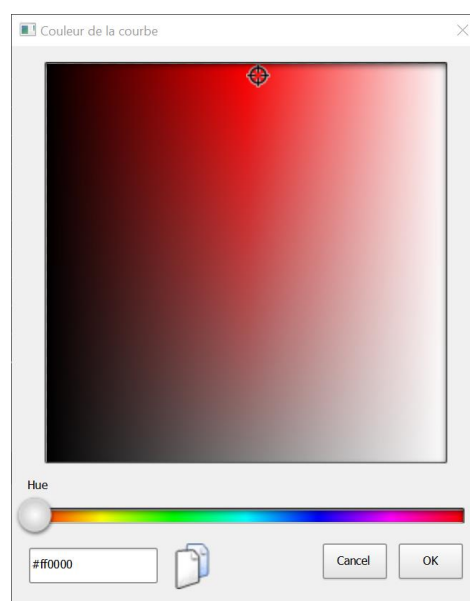


Figure 3.34 : modification de la couleur d'une courbe

3.5.3 Export des données de dommage

L'export des données de dommages se fait au format .txt, compatible avec une lecture sous Excel. La séquence d'export a la structure suivante (Figure 3.35) :

- un titre : Dommages ;
- un horodatage de la séquence : jj/mm/aaaa à hh:mm:ss ;
- l'identification du critère auxquelles se rapport les valeurs de dommages extraites : 2-eb ou 5-pf ;
- une précision quant à la prise en compte ou non du balayage ;
- une suite de paramètres *titres/valeur*.


```

1
2 # Dommages
3 19/07/2021 11:53:35
4 # Couche : 2- eb-gb3
5 # Plan : 1
6 # Balayage : avec
7 # y : dommages cumulés ; 0- Militaires A 400M LN1; 1- Airbus A350 900; 2- Boeing B777 200 ER; 3- ATR ATR 42 200;
8 0,000;0,149;0,004;0,053;0,091;0,000;
9 0,050;0,148;0,004;0,053;0,091;0,000;
10 0,100;0,148;0,004;0,052;0,091;0,000;
11 0,150;0,146;0,004;0,052;0,090;0,000;
12 0,200;0,145;0,004;0,051;0,089;0,000;
13 0,250;0,142;0,004;0,050;0,087;0,000;
14 0,300;0,140;0,004;0,049;0,086;0,000;
15 0,350;0,137;0,004;0,048;0,084;0,000;
16 0,400;0,133;0,004;0,047;0,082;0,000;
17 0,450;0,129;0,004;0,046;0,079;0,001;
18 0,500;0,125;0,004;0,044;0,077;0,001;
19 0,550;0,121;0,004;0,043;0,074;0,001;
20 0,600;0,116;0,004;0,041;0,071;0,001;

```

Figure 3.35 : extrait d'un export de données de dommages

3.6 Visualisation de résultats avancés (onglet *Résultats détaillés*)

3.6.1 Choix du mode de visualisation

L'utilisateur peut accéder à des résultats détaillés. Il peut alors obtenir les :

- valeurs du tenseur de contraintes ;
- valeurs du tenseur de déformation ;
- valeurs des contraintes et déformations principales.

Ces résultats sont visualisables selon trois modes (Figure 3.36) : résultats en un point, résultats suivant une ligne, résultats suivant un plan. L'utilisateur sélectionne le mode souhaité dans le menu déroulant en haut de la fenêtre.

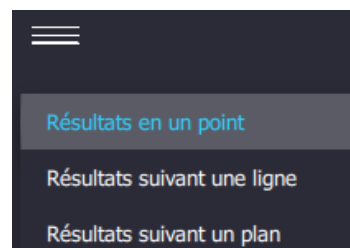


Figure 3.36 : choix du mode de visualisation des résultats avancés

Quel que soit le mode de visualisation choisi, l'utilisateur a le choix parmi les 18 résultats suivants :

- contraintes : σ_{xx} , σ_{yy} , σ_{zz} , σ_{xy} , σ_{yz} , σ_{xz} , σ_1 , σ_2 , σ_3 .
- déformations : ϵ_{xx} , ϵ_{yy} , ϵ_{zz} , ϵ_{xy} , ϵ_{yz} , ϵ_{xz} , ϵ_1 , ϵ_2 , ϵ_3 .



Les indices 1, 2 et 3 figurant pour les contraintes et déformations correspondent aux valeurs principales dans la structure pour ces deux paramètres.

3.6.2 Résultats en un point

Le mode *Résultats en un point*, illustrée par la Figure 3.37, se présente sous la forme d'un tableau dont les paramètres sont les suivants :

- la liste des avions issus du trafic projet ;
- les coordonnées du point souhaité pour la visualisation des résultats ;
- le critère de dimensionnement choisi ;
- le résultat souhaité (déformations ou contrainte) ainsi que la valeur associée au point sélectionné.

L'utilisateur peut ajouter ou ôter des avions de son tableau de résultats en cliquant sur le **symbole + vert** ou sur le **symbole - rouge**, tous deux situés à droite du tableau en regard de chaque ligne. Il sélectionne ensuite

l'avion souhaité (parmi la liste d'avions intégrés au trafic projet dans l'onglet *Trafic*) en cliquant sur le menu déroulant. La ligne correspondant à l'avion sélectionné apparaît en bleu dans le tableau de données (Figure 3.37).



L'utilisateur peut ajouter plusieurs fois un même avion afin d'afficher des résultats en différents points.

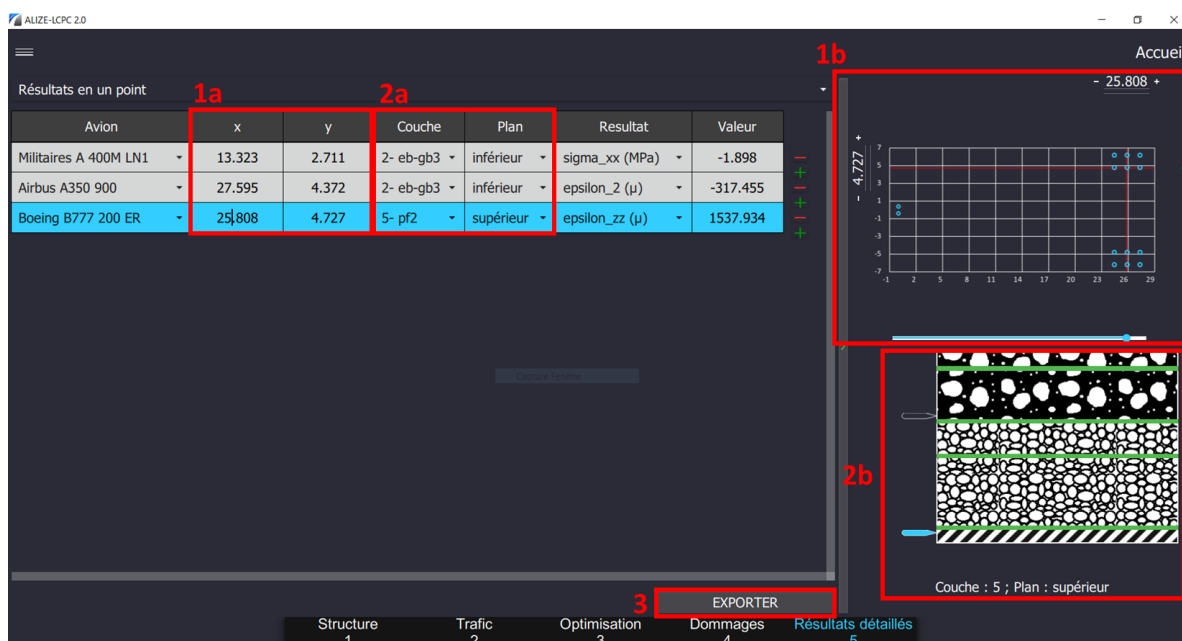


Figure 3.37 : configuration de la fenêtre d'affichage des résultats en un point

La sélection du point souhaité peut se faire de trois manières :

- soit en saisissant manuellement les valeurs des coordonnées x et y du point dans le tableau de données (cadre rouge n°1a) ;
- soit en saisissant manuellement les valeurs des coordonnées souhaitées en lieu et place de la valeur de base indiquée dans le cadre rouge n°1b ;
- soit en utilisant les réglettes situées à droite (coordonnée en y) et en bas (coordonnée en x) de la présentation des atterrisseurs de l'avion sélectionné (réglettes du cadre rouge n°1b) ;
- soit en cliquant sur les boutons + et – situés à côté des valeurs affichées dans le cadre rouge n°1b, augmentant ainsi la valeur de base par pas successifs de 0,1 m.

La sélection du critère (couche et plan concernés) peut se faire :

- soit à partir des menus déroulants des colonnes *Couche* (eb pour le critère de fatigue des enrobés et pF pour le critère de déformation permanente) et *Plan* (inférieur pour le critère de fatigue des enrobés et supérieur pour le critère de déformation permanente) du tableau (cadre rouge n°2a) ;
- soit en cliquant sur les boutons de sélection situés à gauche en regard du plan inférieur des couches bitumineuses ou en regard du plan supérieur du sol support (cadre rouge n°2b). Le bouton de sélection du critère sélectionné apparaît alors en bleu et la colonnes *Couche* et *Plan* du tableau de donnée sont automatiquement mises à jour pour l'avion sélectionné.

L'utilisateur peut enfin exporter les résultats affichés en cliquant sur le bouton *Exporter* situé en bas de la fenêtre (cadre rouge n°3).

3.6.3 Visualisation des résultats suivant une ligne

Le mode *Résultats suivant une ligne* est illustré par la Figure 3.38. L'utilisateur fixe la direction et la coordonnée de la ligne suivant laquelle il veut afficher le résultat, soit à partir du **cadre rouge n°1a** (saisie manuel de la valeur par l'utilisateur ou clics successifs sur les boutons + et – permettant d'augmenter ou de diminuer la valeur de base par pas de 0,1 m), soit à partir du **cadre rouge n°1b** (saisie manuelle de la valeur souhaitée en lieu et place de la valeur de base indiquée ou clics sur les boutons + et – situés de part et d'autre de la valeur de base pour une modification par pas de 0,1 m, ou utilisation de la réglette bleue).

De même que pour le mode *Résultats en un point*, l'utilisateur sélectionne le critère souhaité manuellement à partir des menus déroulants (**cadre rouge n°2a**) ou à partir des boutons de sélection situés en regard de la représentation schématique de la structure (**cadre rouge n°2b**).

S'il a sélectionné les directions x ou y, l'utilisateur renseigne alors les bornes minimale et maximale d'affichage des courbes souhaité ainsi que le nombre de points (permettant ainsi d'affiner la précision d'affichage des courbes). L'utilisateur peut renseigner ces paramètres soit en saisissant les valeurs, soit en utilisant les boutons + et – situés de part et d'autre des valeurs, permettant d'augmenter ou de diminuer les valeurs de base par pas de 0,1 m (**cadre rouge n°3**).



Figure 3.38 : configuration de la fenêtre de visualisation des résultats suivant une ligne

A partir du **cadre rouge n°4**, l'utilisateur sélectionne les résultats à afficher ainsi que le ou les avion(s) à considérer. En cliquant sur *Actualiser* (**cadre rouge n°5**), l'affichage des courbes se met à jour, conformément aux paramètres préalablement renseignés par l'utilisateur. L'utilisateur peut modifier la couleur des courbes en suivant les étapes décrites précédemment (voir section 3.5.2 *supra*).

Enfin, l'utilisateur peut exporter les résultats affichés en cliquant sur le bouton *Exporter les derniers résultats* (**cadre rouge n°6**). Seuls les résultats issus de la dernière actualisation sont alors exportés au format .txt.

3.6.4 Visualisation des résultats suivant un plan

➤ Modes de visualisation des résultats suivant un plan

S'il choisit la visualisation des résultats suivant un plan, l'utilisateur pourra sélectionner l'un des trois modes de représentation proposés dans le menu déroulant (Figure 3.39) : iso-valeurs, gradient ou champs vectoriel.

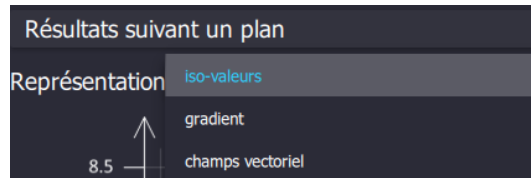


Figure 3.39 : choix du mode de représentation des résultats suivant un plan

➤ Configuration de la fenêtre de visualisation des résultats suivant un plan

Le mode *Résultats suivant un plan* est illustré par la Figure 3.40 dans le cas d'une représentation en iso-valeurs. Plusieurs paramètres de visualisation des courbes sont à renseigner par l'utilisateur.

Il sélectionne tout d'abord la direction souhaitée (**cadre rouge n°1a**) : XY, XZ ou YZ. Dans le cas où il aurait sélectionné le plan XY, il renseigne alors le critère souhaité soit à partir des menus déroulants (**cadre rouge n°1a**) ou à partir des boutons de sélection figurant en regard de la représentation schématique de la structure (**cadre rouge n°1b**).

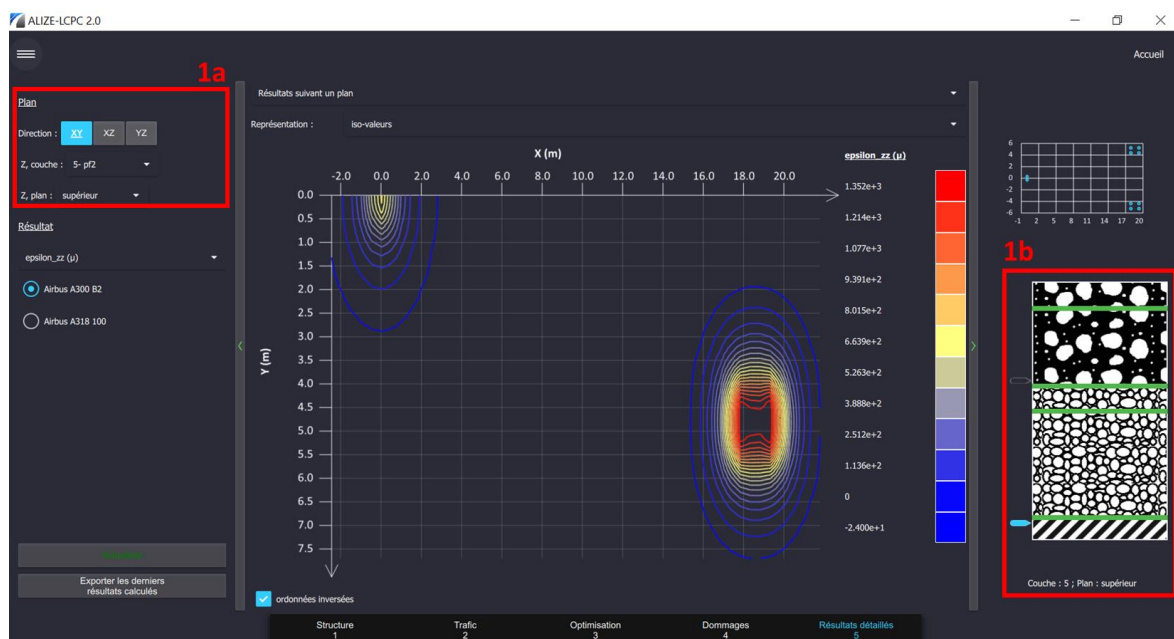


Figure 3.40 : configuration de la fenêtre de visualisation des résultats suivant un plan (cas de la représentation en iso-valeurs)

Dans le cas où l'utilisateur aurait sélectionné les plans XZ ou YZ (Figure 3.41), il doit renseigner la valeur de la coordonnée (respectivement Y ou X) :

- à partir de la fenêtre de renseignement (**cadre rouge n°1a**), soit en saisissant au clavier la valeur souhaitée, soit en utilisant les boutons + ou – situés de part et d'autre de la valeur et permettant d'augmenter ou de diminuer la valeur de base par pas de 0,1 m ;
- à partir de la représentation schématique des atterrisseurs (**cadre rouge n°1b**), soit en saisissant au clavier la valeur souhaitée, soit en utilisant les boutons + ou – situés de part et d'autre de la valeur

et permettant d'augmenter ou de diminuer la valeur de base par pas de 0,1 m, soit en utilisant la réglette bleue.



Figure 3.41 : configuration de la fenêtre de visualisation des résultats suivant un plan (cas de la représentation en gradient)

Dans tous les cas (quel que soit le plan sélectionné), l'utilisateur sélectionne l'avion souhaité, la sélection de plusieurs avions n'étant pas autorisée dans ce mode de visualisation (cadre rouge n°2). En cliquant sur *Actualiser* (cadre rouge n°3), l'affichage des courbes se met à jour, conformément aux paramètres préalablement renseignés par l'utilisateur.

L'utilisateur peut, s'il le souhaite et uniquement dans le cas des plans XZ et YZ, afficher la structure sur la représentation graphique, en cochant la case *Afficher la structure* (cadre rouge n°4). Des lignes horizontales en pointillés blancs apparaissent alors sur le graphe ; elles représentent les profondeurs aux interfaces des couches de la chaussée. Les matériaux associés à chaque couche sont également indiqués.

Enfin, l'utilisateur peut exporter les résultats affichés en cliquant sur le bouton *Exporter les derniers résultats* (cadre rouge n°5). Seuls les résultats issus de la dernière actualisation sont alors exportés.

3.6.5 Export des résultats avancés

L'export des données de dommages se fait au format .txt, compatible avec une lecture sous Excel. La séquence d'export a la structure suivante (Figure 3.42) :

- un titre : Résultats détaillés en un point (ou suivant une ligne ou suivant un plan) ;
- un horodatage de la séquence : jj/mm/aaaa à hh:mm:ss ;
- un suite de paramètres *titres/valeur*.

```
# Resultats détaillés en un point
# 19/07/2021 15:15:25
avion ; x ; y ; couche ; z ; resultat ; valeur ;
0- Militaires A 400M LN1;13,263;2,605;2- eb-gb3;0,240;sigma_xx (MPa);-1,757
1- Airbus A350 900;27,536;4,532;2- eb-gb3;0,240;epsilon_2 (μ);-301,449
2- Boeing B777 200 ER;25,751;4,714;5- pf2;0,600;sigma_zz (MPa);0,086
3- ATR ATR 42 200;8,817;1,820;5- pf2;0,600;epsilon_zz (μ);412,243
```

Figure 3.42 : extrait d'un export de résultats avancés (cas de résultats détaillés en un point)

3.7 Génération d'une note de dimensionnement neuf

3.7.1 Génération et personnalisation d'une note de synthèse aéronautique

Le menu **Projet** de l'onglet *Dommages* comporte une nouvelle option *Rapport aéronautique* (Figure 3.43) permettant de générer un document de synthèse.



Figure 3.43 : accès au rapport aéronautique via le menu *Projet*

Une fenêtre permet de personnaliser ce rapport (Figure 3.44), en proposant à l'utilisateur de choisir les options et les résultats qu'il souhaite y intégrer.

Figure 3.44 : personnalisation de la note de synthèse de dimensionnement neuf

L'utilisateur peut ainsi choisir d'intégrer les principales caractéristiques du dimensionnement issues des onglets *Structure*, *Trafic* et *Dommages*, puis les différents résultats obtenus : courbes de dommage 2D et synthèse des résultats.

Enfin, l'utilisateur peut aussi personnaliser son édition en saisissant librement certaines informations, telles que :

- un nom de fichier singulier. Par défaut, Alizé2® propose le nom *calculationsNote_date_heure* ;
- une description de l'étude ainsi qu'un avertissement ou une observation la concernant, s'il ne les a pas renseignés lors du chargement du projet (voir Figure 2.7) ;
- une conclusion.

En cliquant sur *valider*, le rapport au format .pdf est généré et enregistré automatiquement dans le même dossier que le projet (voir section 5 *infra*).



Dans le nom de fichier, il est important de n'utiliser que les caractères autorisés par Windows. Les caractères \ / : * ? " < > | sont notamment interdits et les espaces, accents et % fortement déconseillés.



Le rapport ne peut être généré que si l'emplacement du projet est défini localement ou via un lecteur réseau identifié par une lettre et une adresse de type Z:\.... La syntaxe « \\nom_serveur\... » est déconseillée.

3.7.2 Constitution de la note de dimensionnement neuf aéronautique

Les deux premières pages du rapport de calcul aéronautique reprennent les informations générales du projet, à savoir (Figure 3.45) :

- le titre du rapport, suivi d'une mention générée automatiquement précisant que les calculs ont été réalisés conformément à la méthode rationnelle de dimensionnement des chaussées souples développée par le STAC ;
- le nom de l'auteur ;
- la date et l'heure de génération du rapport ;
- la description de l'étude ainsi que l'avertissement éventuellement renseignés par l'utilisateur.



Figure 3.45 : exemple de page de garde du rapport de calcul de dimensionnement neuf

Dans le cas où les calculs effectués par l'utilisateur pour sa structure et son trafic projet conduiraient à des valeurs de dommage supérieures à 1 selon un ou plusieurs critères, un message d'avertissement est automatiquement généré par Alizé2® sur le rapport aéronautique (Figure 3.46), préalablement à l'avertissement éventuellement renseigné manuellement par l'utilisateur.

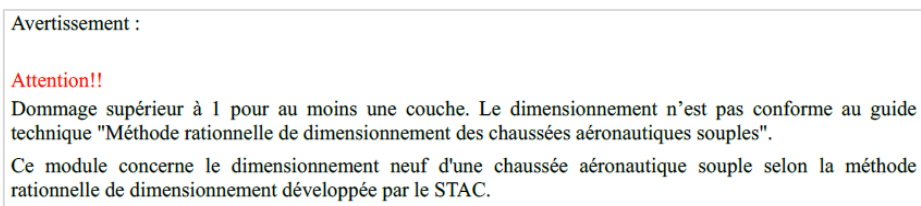


Figure 3.46 : exemple d'avertissement figurant dans le rapport de calcul de dimensionnement neuf

Si l'utilisateur a coché *Structure*, les données issues de l'onglet *Structure* et intégrées dans le rapport sont (Figure 3.47) :

- la liste des couches et leur épaisseur respective ;
- le module d'Young ;
- le coefficient de Poisson ;
- la bibliothèque et le matériau utilisés pour chaque couche.

L'état des interfaces est également indiqué entre les couches.

Si l'utilisateur a coché *Critères de calcul*, les données suivantes sont intégrées dans le rapport (Figure 3.47) :

- localisation du critère (couche et plan concernés) ;
- matériau concerné par le critère ;
- identification du critère : ε_T ou ε_Z .

1 Structure					
N° de la Couche	Epaisseur (m)	Module (MPa)	Nu (-)	Bibliothèque	Matériau
1	0.06	7315	0.35	NF P98-086 v2019	eb-bbsg1
Collé					
2	0.18	9000	0.35	NF P98-086 v2019	eb-gb3
Collé					
3	0.11	450	0.35	NF P98-086 v2019	gnt cg1
Collé					
4	0.25	150	0.35	NF P98-086 v2019	gnt cg1
Collé					
5	Inf.	50	0.35	NF P98-086 v2019	pf2

2 Critères de calcul			
N° Couche	Plan	Matériau	Critère
2	Inférieur	eb-gb3	ε_T
5	Supérieur	pf2	ε_Z

Figure 3.47 : exemple de la partie Structure du rapport de dimensionnement neuf

Si l'utilisateur a coché *Trafic*, les données issues de l'onglet *Trafic* et intégrées dans le rapport sont (Figure 3.48) :

- la période de calcul ;
- le rappel de la base de données d'où sont issues les données avions ;
- les aéronefs identifiés par le constructeur, le type et le modèle ;
- les masses prises en compte pour chaque aéronef ;
- les nombres de mouvements pour chaque aéronefs : nombre, unité (mouvements cumulés, par jour, par semaine, par mois ou par année), les taux d'accroissement éventuellement considérés et le trafic cumulé pour chaque avion ;
- les autres paramètres de trafic : vitesse, balayage et température équivalente pour chaque avion.

3 Trafic											
Période de calcul : 10											
Base de données avion : Ficav2020											
Constructeur	Type	Modèle	Masse		Mouvements				Autres paramètres		
			Type	Valeur (kg)	Nombre	Unités	Ta (%)	Trafic cumulé	Balayage (m)	Vitesse (km/h)	Teta eq. (°C)
Militaires	A 400M	LN1	Mrw	137900	5	Mvts/jour	0	18263	1.5	100	15
Airbus	A350	900	Mrw	280900	5	Mvts/jour	0	18263	1.5	100	15
Boeing	B777	200 ER	Mrw	287800	3	Mvts/jour	0	10958	1.5	100	15
ATR	ATR 42	200	Mrw	21530	10	Mvts/jour	0	36525	1.5	100	15

Figure 3.48 : exemple de la partie Trafic du rapport de dimensionnement neuf

Si l'utilisateur a sélectionné *Courbes de dommages*, les données issues de l'onglet *Dommages* et intégrées dans le rapport sont (Figure 3.49) :

- la courbe de dommage cumulé avec balayage pour le critère de fatigue à la base des enrobés ;
- la courbe de dommage cumulé avec balayage pour le critère de déformation permanente au sommet du sol support ;
- la courbe de dommage cumulé sans balayage pour le critère de fatigue à la base des enrobés ;
- la courbe de dommage cumulé sans balayage pour le critère de déformation permanente au sommet du sol support.

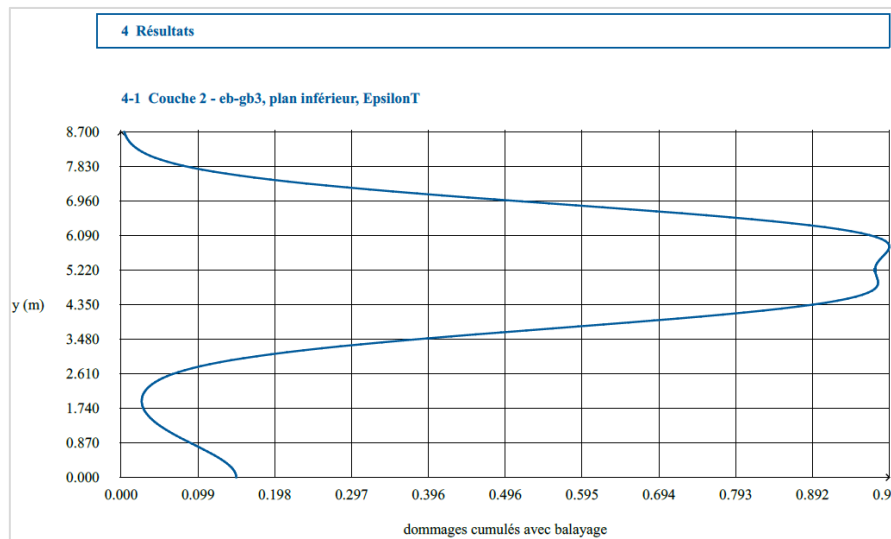


Figure 3.49 : exemple de la partie Résultats du rapport de dimensionnement neuf (courbes de dommage)

Si l'utilisateur a coché *Synthèse des résultats*, les données suivantes sont intégrées au rapport (Figure 3.50) :

- la valeur de la RseR pour le trafic et la structure considérée ;
- un tableau synthétisant, pour le critère de fatigue à la base des enrobés, la contribution de chaque aéronef au dommage cumulé maximal, ainsi qu'un rappel du dommage cumulé maximal pour ce critère ;
- un tableau synthétisant, pour le critère de déformation permanente au sommet du sol support, la contribution de chaque aéronef au dommage cumulé maximal, ainsi qu'un rappel du dommage cumulé maximal pour ce critère.

5 Synthèse des résultats				
RseR calculée : 29.77 t				
5-1 Contribution au dommage maximal avec balayage				
5-1-1 Couche 2 - eb-gb3, plan inférieur, EpsilonT				
Constructeur	Type	Modèle	Dommage	
			Absolu (-)	Relatif (%)
Militaires	A 400M	LN1	0.000	0.0
Airbus	A350	900	0.810	81.7
Boeing	B777	200 ER	0.181	18.3
ATR	ATR 42	200	0.000	0.0
Ensemble du trafic			0.991	

Figure 3.50 : exemple de la partie Synthèse des résultats du rapport de dimensionnement neuf

Enfin, la partie *Conclusion* (Figure 3.51) reprend exactement et exclusivement le contenu du champ éponyme saisi par l'utilisateur dans la fenêtre de configuration précédant la génération du rapport de dimensionnement neuf aéronautique.

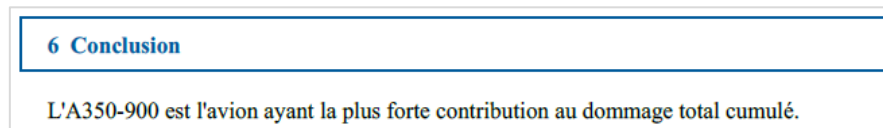


Figure 3.51 : exemple de conclusion du rapport de dimensionnement neuf

4 Sous-module ACR/PCR

4.1 Phasage d'une étude d'admissibilité

Les différentes phases d'un calcul de PCR et d'une étude d'admissibilité sont présentées sur la Figure 4.1, conformément à la méthode décrite dans les documents dédiés [5], [8].

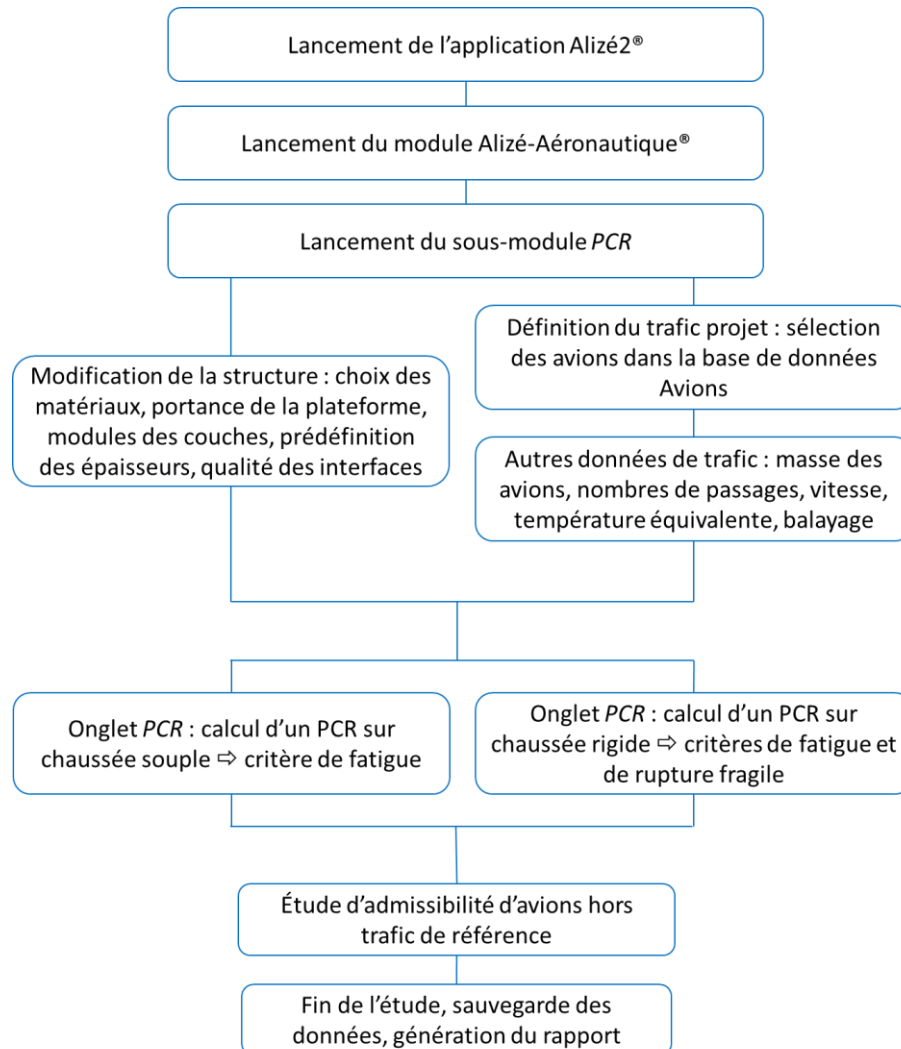


Figure 4.1 : différentes phases d'une étude de PCR et d'admissibilité avec Alizé-Aéronautique



Les éléments de renseignement de la structure de chaussée (choix des matériaux, des modules associés, des épaisseurs initiales, de la qualité des interfaces) et du trafic sont des données d'entrée pour le sous-module PCR du logiciel Alizé-Aéronautique®. Les éléments de structure sont déterminés en réalisant un diagnostic de chaussée [11].

Une fois le projet ouvert ou nouvellement créé, l'utilisateur va pouvoir réaliser son calcul de PCR et/ou son étude d'admissibilité en passant par les différentes étapes rappelées dans la Figure 4.1 *supra*, et matérialisées par la barre d'onglets située en bas de la fenêtre (Figure 4.2).



Figure 4.2 : barre de navigation entre les onglets du sous-module PCR



Le sous-module *ACR/PCR* permet l'importation de fichiers projets issus du module de dimensionnement (fichier au format .zasp).

4.2 Définition de la structure de chaussée (onglet *Structure*)

4.2.1 Configuration générale de l'onglet *Structure*

Le premier onglet permet de définir la structure à dimensionner. L'apparence générale de l'onglet *Structure*, illustré par la Figure 4.3, est semblable à celle du sous-module *Dimensionnement neuf* (voir Figure 3.3), et se compose de :

- une fenêtre permettant de renseigner la structure initiale (**cadre rouge n°1**) ;
- un schéma de la structure modélisé conformément aux données renseignées par l'utilisateur (**cadre rouge n°2**), qui apparaît sous forme de volet pouvant donc être masqué à tout moment par l'utilisateur ;
- un bouton commutateur permettant d'ajouter/ôter un substratum rigide peu profond (**cadre rouge n°3**) ;
- un bouton commutateur permettant d'afficher/masquer les paramètres de calcul (ϵ_6 , Sh , Sn , Kr , etc.), déterminés automatiquement par le logiciel pour les couches sélectionnées (**cadre rouge n°4**) ;
- un menu vertical, en accès direct, à gauche (**cadre rouge n°5**), permettant à l'utilisateur de :
 - o inclure les données de structure dans l'historique en cliquant sur *Inclure dans l'historique* (voir la section 3.2.8 sur l'export des données de structure) ;
 - o accéder à l'aide logiciel pour cet onglet en cliquant sur *Guides* ;
 - o accéder à la bibliothèque des matériaux en cliquant sur *Bibliothèque matériaux* (voir la section 3.2.2 *supra*).



Figure 4.3 : vue globale de l'onglet *Structure*

4.2.2 Tableau de données de structure

De même que pour le sous-module *Dimensionnement neuf*, une structure prédéfinie est présentée, avec 4 couches de matériaux (la couche de grave non traitée est divisée en sous-couches de 25cm d'épaisseur maximale) dont les caractéristiques sont regroupées dans un tableau (Figure 4.4) affichant :

- le matériau constituant chaque couche et la bibliothèque d'origine (par défaut la bibliothèque correspondant à la norme 2019 est retenue) ;
- l'épaisseur H de la couche ;
- le module élastique E et le coefficient de Poisson ν correspondant ;
- la qualité de l'interface entre deux couches (collée, demi-collée, glissante) ;
- les critères de calcul et le plan sur lequel ils sont localisés ;
- le risque de calcul.

Nombre de couches : 5

	Bibliothèque	Epaisseur (m)	Matériau	Module (MPa)	Nu (-)	Critère	Plan	Risque	Kc(RseR)
+	NFP98-086 2019	0.060	eb-bbsg1	f(T, T)	0.35	Aucun			
	COLLÉ								
+	NFP98-086 2019	0.180	eb-gb3	f(T, T)	0.35	epsiT	Inf.	0.0	gb3
	COLLÉ								
+	NFP98-086 2019	0.050	gnt cg1	600	0.35	Aucun			
	COLLÉ								
+	NFP98-086 2019	0.250	gnt cg1	240	0.35	Aucun			
	COLLÉ								
+	NFP98-086 2019	infini	pf2	50	0.35	epsiZ	Sup.		

Figure 4.4 : tableau de données de l'onglet Structure



Dans le sous-module *ACR/PCR*, le calcul du module d'élasticité des couches de GNT n'est pas effectué automatiquement. L'utilisateur peut néanmoins saisir les modules souhaités manuellement en sélectionnant un matériau « Autre » dans la bibliothèque de matériaux.

➤ Choix de la bibliothèque de matériaux

Tout comme dans le sous-module *Dimensionnement* neuf, l'utilisateur a le choix entre plusieurs bibliothèques de matériaux. En cliquant sur le bouton de la colonne *Bibliothèque*, il pourra choisir le matériau souhaité pour la couche sélectionnée (qui s'affiche en bleu) dans la colonne dédiée. Quatre options sont proposées (Figure 4.5) :

- La première bibliothèque, « Autre » permet à l'utilisateur de renseigner un matériau existant en renseignant les paramètres réels du matériau (module, coefficient de Poisson) ;
- la troisième bibliothèque est issue de la norme NF P98-086 de 2019 ;
- la quatrième, *Aero*, contient les matériaux de type BBA ;
- si l'utilisateur a préalablement chargé une ou plusieurs bibliothèque(s) utilisateur (voir section 3.2.2), alors celles-ci apparaissent à la suite dans le menu déroulant.

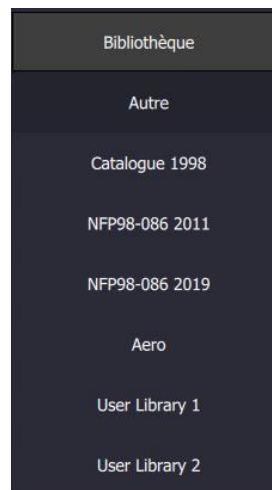


Figure 4.5 : choix d'une bibliothèque de matériaux

➤ Modification de la structure prédéfinie

La structure prédéfinie par Alizé2® peut être modifiée (voir section 3.2.3) soit :

- par le choix d'un matériau différent à partir de la bibliothèque sélectionnée ;
- par la modification de l'épaisseur de chaque couche ;
- par l'ajout/la suppression d'une ou de plusieurs couche(s) ;
- par l'ajout/la suppression d'un substratum rigide peu profond (voir section 3.2.5).

Le sous-module *PCR* pouvant nécessiter le renseignement d'une structure existante, l'utilisateur a la possibilité de renseigner les modules et coefficients de Poisson réels, déterminés par des essais in-situ et/ou en laboratoire. Pour ce faire, l'utilisateur doit au préalable avoir sélectionné le matériau « Autre ». Il renseigne alors manuellement ces valeurs.

Enfin, le sous-module *PCR* permet de préciser la qualité des interfaces. Pour cela, il clique sur l'interface. Il peut alors renseigner trois types d'interfaces : collée, semi-collée et glissante.

De même que dans le sous-module *Dimensionnement neuf*, la structure en cours de définition est représentée schématiquement sur la droite de l'écran (voir section 3.2.4).



Dans le cas où la structure renseignée serait non conventionnelle (structure mixte ou inverse par exemple) ou dans le cas de l'utilisation des matériaux hors-norme (matériaux « Autres »), l'utilisateur veillera à correctement localiser les critères de calcul.



Le risque de calcul est par défaut fixé à 5%. L'utilisateur veillera à modifier ce risque conformément aux recommandations faites dans le guide de dimensionnement suivant la méthode rationnelle [3]. Dans le cas où la chaussée pour laquelle le PCR est calculée a fait l'objet d'un dimensionnement préalable (dimensionnement neuf ou renforcement), l'utilisateur veillera à prendre en compte le même risque que celui utilisé pour le dimensionnement.

4.2.3 Aides logiciel de l'onglet *Structure*

Les aides logiciel pour l'onglet *Structure* sont accessibles en cliquant sur le bouton *Guides* du menu vertical en accès direct situé à gauche de la fenêtre (voir section 4.2.1 *supra*). Un document .pdf composé de quatre parties s'ouvre alors. Ce document est commun à tous les sous-modules du module Aéronautique (voir section 3.2.7).

4.3 Définition du trafic de référence (onglet *Trafic*)

Le second onglet est consacré à la définition du trafic aéronautique de référence [5]. La configuration générale de cet onglet est la même que pour le sous-module *Dimensionnement neuf* (voir section 3.3.1).

4.3.1 Renseignement du trafic

L'utilisateur renseigne son trafic de référence (Figure 4.6), comme détaillé dans la section 3.3.2 *supra*, en précisant :

- le constructeur, le type et le modèle d'aéronef ;
- la masse de chaque aéronef (type de masse et valeur) ;
- les nombres de mouvements associés ;
- les autres paramètres de trafic (balayage, vitesse et température équivalente).

L'utilisateur peut, s'il le souhaite, calculer à cette étape l'ACR des aéronefs à leur masse opérationnelle (préalablement renseignée). Il peut également sélectionner/désélectionner les aéronefs pour lesquels il souhaite visualiser les atterrisseurs.

Période de calcul (années) : 10														
	Constructeur	Type	Modèle	Masse		Mouvements				Autres paramètres			ACR	Afficher
				Type	Valeur (kg)	Nombre	Unités	Ta (%)	Traffic cumulé	Balayage (m)	Vitesse (km/h)	Tota eq.		
+	Airbus	A350	900	Mhw	280000	10	Mhw/jour	0	36525	1.5	100	15	901.3	☒
+	Boeing	787	8	Mhw	240000	10	Mhw/jour	0	36525	1.5	100	15	CALCULER	☐

Figure 4.6 : tableau de données de trafic

4.3.2 Calcul des ACR des aéronefs

Une fois le trafic renseigné, l'utilisateur peut, s'il le souhaite, calculer les ACR de chaque aéronef. Pour ce faire, l'utilisateur clique sur le bouton « Calculer » situé dans la colonne « ACR » en regard de chaque avion inclus dans le trafic de référence (Figure 4.7). Alizé2® calcule alors automatiquement l'ACR à la masse d'exploitation préalablement renseignée par l'utilisateur, conformément à la méthode de calcul développée par l'OACI [8]. A noter que cette valeur n'est pas calculée automatiquement et toute modification de l'avion, de sa masse ou de la catégorie du sol nécessite de relancer le calcul.

ACR
901.3
628.2
CALCULER

Figure 4.7 : calcul des ACR des aéronefs

4.3.3 Aides logiciel de l'onglet *Trafic*

Les aides logiciel pour l'onglet *Trafic* sont accessibles en cliquant sur le bouton *Guides* du menu vertical en accès direct situé à gauche de la fenêtre (voir cadre rouge n°7 de la Figure 3.21 *supra*). Un document .pdf composé de quatre parties s'ouvre alors. Ce document est commun à tous les sous-modules du module Aéronautique (voir section 3.3.3).

4.4 Calcul du PCR de la chaussée (onglet *PCR*)

4.4.1 Configuration générale de l'onglet *PCR*

Le troisième onglet permet de réaliser le calcul de PCR pour la structure préalablement renseignée par l'utilisateur (onglet *Structure*) et soumise au trafic de référence défini (onglet *Trafic*). La configuration générale de l'onglet *PCR*, illustrée par la Figure 4.8, se compose de :

- un bouton « Calculer » permettant à l'utilisateur lancer les calculs de PCR (cadre rouge n°1) ;
- l'affichage du PCR calculé par Alizé2® (cadre rouge n°2) au bon format de publication (i.e. précisant le type de chaussée et la catégorie de sol correspondante ; par défaut, aucune limitation n'est appliquée à la pression de gonflage des pneumatiques) ;
- un tableau récapitulant le trafic de référence ainsi que les ACR des avions correspondants calculés à leur masse d'opération (cadre rouge n°3) ;
- un menu vertical, en accès direct, à gauche (cadre rouge n°4), permettant à l'utilisateur de consulter l'aide logiciel associée (voir section 4.4.2).



Figure 4.8 : vue globale de l'onglet *PCR*

L'une des spécificités de la méthode française de dimensionnement rationnel des chaussées aéronautiques souples réside dans le fait que deux critères sont pris en compte : le critère de fatigue à la base des enrobés et le critère de déformation permanente au sommet du sol support. Or, la méthode de calcul des PCR ne

tient compte que du second critère. Aussi, dans le cas des chaussées pour lesquelles le critère dimensionnant serait le critère de fatigue des enrobés, un message d'avertissement apparaît alors (Figure 4.9), mettant en garde contre la durée de vie résiduelle de la chaussée.

PCR = 816 F/C/W/T			Temps de calcul = 14 s
La Durée de Vie Résiduelle est inférieure à 10 ans pour le critère EpsiT			
Aéronef	Masse [kg]	ACR	Schéma de structure
Airbus / A330 / 200	Mnw / 233900	649.1	
Boeing / B787 / 8	Autre / 228300	687.7	
Militaires / A 400M / LH1	Mnw / 141400	243.7	

Figure 4.9 : message d'avertissement sur la durée de vie résiduelle de la chaussée

4.4.2 Aides logiciel de l'onglet PCR

Les aides logiciel de l'onglet PCR sont accessibles en cliquant sur le bouton *Guides* du menu vertical en accès direct situé à gauche de la fenêtre. Un document .pdf s'ouvre alors (Figure 4.10). Il se compose de deux parties :

- le rappel des méthodes de calcul du PCR pour une chaussée souple et pour une chaussée rigide ;
- le rappel de la méthode de calcul de la durée de vie résiduelle de la chaussée.

Aides logiciel – Alizé2
Calcul de PCR – Pratique française

Sommaire

Aides logiciel – Alizé2	1
1. Méthode de calcul des PCR avions	2
1.1. Calcul de PCR pour les chaussées souples	2
1.2. Calcul de PCR pour les chaussées rigides	2
2. Calcul de la durée de vie résiduelle de la chaussée.....	3

Figure 4.10 : liste des aides logiciel disponibles dans l'onglet PCR

4.5 Evaluation de l'admissibilité des aéronefs en dépassement de charge (onglet *Admissibilité*)

4.5.1 Configuration générale de l'onglet *Admissibilité*

Le dernier onglet du sous-module PCR permet à l'utilisateur d'évaluer l'admissibilité d'avions hors trafic de référence. Cet onglet devient actif dès lors qu'un PCR a été calculé pour une structure donnée soumise à un trafic de référence.

L'apparence général de l'onglet *Admissibilité*, illustré par la Figure 4.11, se compose de :

- un tableau de données de trafic (**cadre rouge n°1**), reprenant les mêmes catégories que celles listées dans la section 4.3.1 et une nouvelle colonne permettant le calcul du ratio ACR/PCR ;
- deux boutons commutateurs (**cadre rouge n°2**) permettant d'afficher/masquer les données de mouvements et les autres paramètres de trafic (vitesse, balayage, température équivalente) respectivement ;
- un bouton permettant de lancer le calcul de durée de vie résiduelle de la chaussée (**cadre rouge n°3**) en tenant compte des aéronefs hors trafic de référence renseignés par l'utilisateur dans la tableau de données de trafic ;

- un schéma de la structure renseignée dans l'onglet *Structure* sous forme d'un volet (cadre rouge n°4) pouvant être affiché/masqué à tout moment par l'utilisateur ;
- un menu vertical en accès direct, à gauche (cadre rouge n°5) permettant à l'utilisateur d'accéder à l'aide logiciel pour cet onglet en cliquant sur *Guides* (voir section 4.5.2).

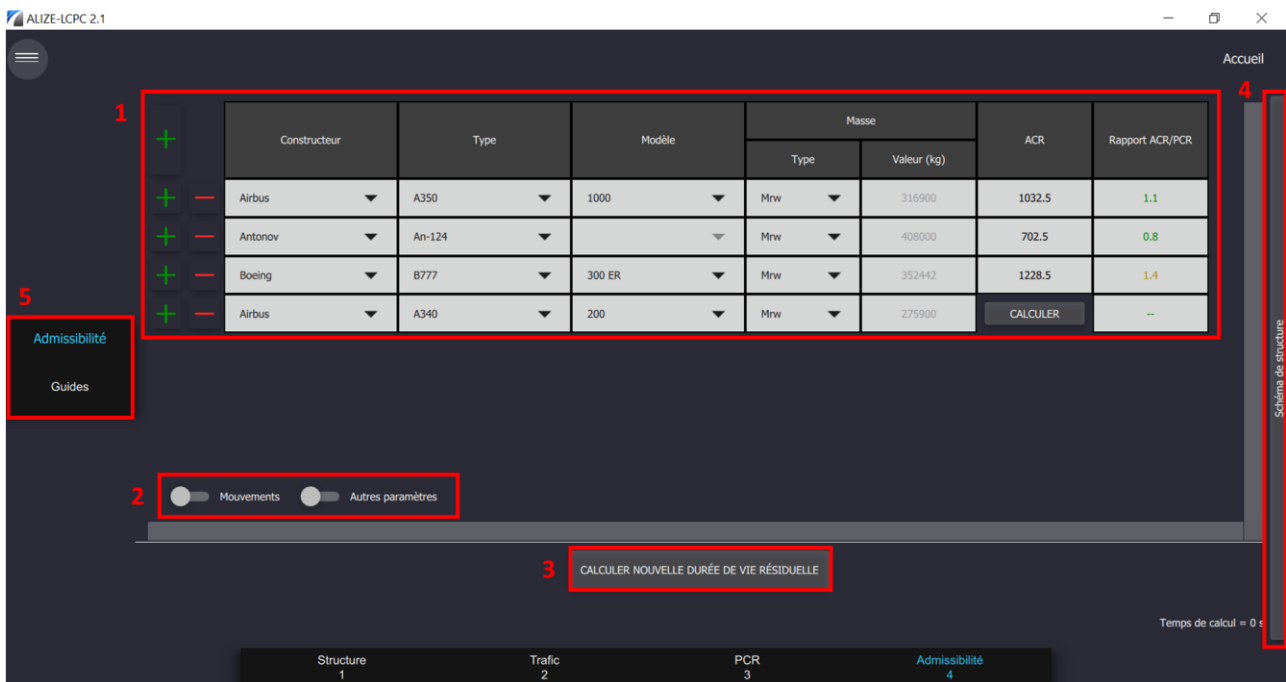


Figure 4.11 : configuration générale de l'onglet *Admissibilité*

4.5.2 Aides logiciel de l'onglet *Admissibilité*

Les aides logiciel de l'onglet *PCR* sont accessibles en cliquant sur le bouton *Guides* du menu vertical en accès direct situé à gauche de la fenêtre. Un document .pdf s'ouvre alors, présentant le logigramme d'évaluation de l'admissibilité des aéronefs hors trafic de référence.

4.6 Génération d'un rapport PCR et étude d'admissibilité

4.6.1 Génération et personnalisation d'un rapport PCR/étude d'admissibilité

Le menu *Projet*, disponible dans les onglets *PCR* et *Admissibilité* du sous-module *PCR*, comporte une nouvelle option *Rapport PCR* (Figure 4.12) permettant de générer un document de synthèse.

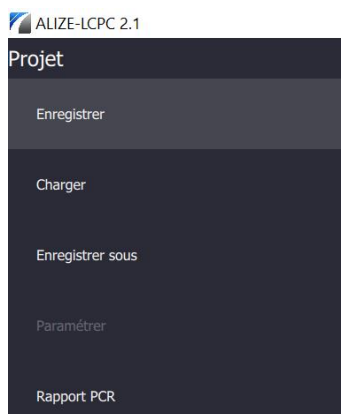


Figure 4.12 : accès au rapport PCR via le menu Projet

Le clic sur l'item « Rapport PCR » du menu Projet conduit à l'ouverture d'une fenêtre permettant à l'utilisateur de personnaliser ce rapport (Figure 4.13) en lui proposant de choisir les options et résultats qu'il souhaite y intégrer.

L'utilisateur peut ainsi choisir d'intégrer les principales caractéristiques issues des onglets *Structure* et *Trafic* puis les résultats issus du calcul de PCR et d'étude d'admissibilité d'aéronefs hors trafic de référence.

Enfin l'utilisateur peut aussi personnaliser son édition en saisissant librement certaines informations parmi lesquelles :

- un nom de fichier singulier ; par défaut, Alizé2® propose le nom `calculNote_date_heure` ;
- une description de l'étude ainsi qu'un avertissement ou une observation la concernant, s'il ne les a pas renseignés lors du chargement du projet (voir Figure 2.7) ;
- une conclusion.

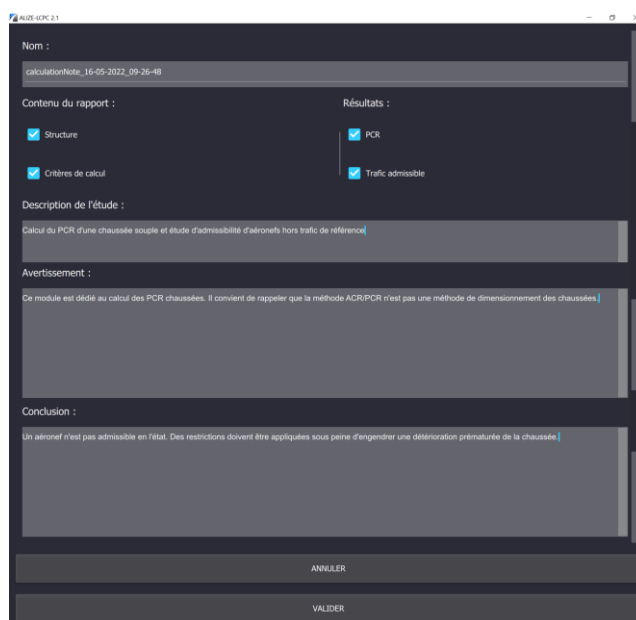


Figure 4.13 : personnalisation de la note de synthèse de calcul de PCR/étude d'admissibilité

En cliquant sur *valider*, le rapport au format .pdf est généré et enregistré automatiquement dans le même dossier que le projet (voir section 5).



Dans le nom de fichier, il est important de n'utiliser que les caractères autorisés par Windows. Les caractères \ / : * ? " < > | sont notamment interdits et les espaces, accents et % fortement déconseillés.



Le rapport ne peut être généré que si l'emplacement du projet est défini localement ou via un lecteur réseau identifié par une lettre et une adresse de type Z:\.... La syntaxe « \\nom_serveur\... » est déconseillée.

4.6.2 Constitution du rapport PCR/étude d'admissibilité

Les deux premières pages du rapport de calcul reprennent les informations générales du projet, à savoir (Figure 4.14) :

- le titre du rapport, suivi d'une mention générée automatiquement précisant que les calculs ont été réalisés conformément au nouveau système ACR/PCR basé sur une méthode rationnelle développée par l'OACI avec le concours du STAC ;
- le nom de l'auteur ;
- la date et l'heure de génération du rapport ;
- la description de l'étude ainsi que l'avertissement éventuellement renseignés par l'utilisateur.

Rapport de calcul
calculationNote_22-02-2022_10-24-04

Rapport généré par le logiciel Alizé-LCPC 2.1.0 Module ACR/PCR. Calcul réalisé selon la méthode rationnelle de dimensionnement des chaussées aéronautiques souples développée par le Service Technique de l'Aviation Civile (STAC).

Auteur :

Date : 22/02/2022
Heure : 10:28:52

Figure 4.14 : exemple de page de garde du rapport PCR

Si l'utilisateur a coché *Structure*, les données issues de l'onglet éponyme et intégrées au rapport sont les suivantes (Figure 4.15) :

- la liste des couches et leur épaisseur respective ;
- le module d'Young ;
- le coefficient de Poisson ;
- la bibliothèque et le matériau utilisés pour chaque couche.

Les interfaces sont également caractérisées : collées, semi-collées ou glissantes.

Si l'utilisateur a coché *Critères de calcul*, les données suivantes sont intégrées au rapport (Figure 4.16) :

- localisation du critère (couche et plan concernés) ;
- matériau concerné par le critère ;
- identification du critère : ϵ_z pour les chaussées souples ou σ pour les chaussées rigides.

1 Structure					
N° de la Couche	Epaisseur (m)	Module (MPa)	Nu (-)	Bibliothèque	Matériau
1	0.06	7315	0.35	Aero	eb-bba2
Collé					
2	0.14	9000	0.35	NF P98-086 v2019	eb-gb3
Collé					
3	0.06	600	0.35	NF P98-086 v2019	gnt cgl
Collé					
4	0.25	450	0.35	NF P98-086 v2019	gnt cgl
Collé					
5	0.25	150	0.35	NF P98-086 v2019	gnt cgl
Collé					
6	Inf.	50	0.35	NF P98-086 v2019	pf2

Figure 4.15 : exemple de la partie Structure du rapport PCR (structure)

Enfin les paramètres généraux de calculs sont précisés, tels que : le risque, ε_6 , K, Kc, Sn, Sh, etc. (voir Figure 4.16).

2 Critères de calcul			
N° Couche	Plan	Matériau	Critère
2	Inférieur	eb-gb3	εT
6	Supérieur	pt2	εZ

Couche 2		
ε_6 : 90.000	-1/b : 5.000	Risque : 0.05
E(Eq,f)(MPa) : 9000	S_h : 0.022	S_n : 0.300
Kr : 0.755	Kc : 1.300	Ks : 0.000
Couche 6		
Coeff K : 16000.000	Pente b : -0.222	

Figure 4.16 : exemple de la partie Structure du rapport PCR (critères et paramètres de calcul)

Si l'utilisateur a coché *PCR*, les données des onglets *Trafic* et *PCR* et intégrées dans le rapport PCR sont (Figure 4.17) :

- la période de calcul ;
- le rappel de la base de données d'où sont issues les données avions ;
- les aéronefs identifiés par leur constructeur, type et modèle ;
- les masses d'opération renseignées par l'utilisateur : type (Mrw, Mlw, Mtow, ou Autre) et valeur ;
- les nombres de mouvements pour chaque aéronef : nombre, unité (mouvements cumulés, par jour, par semaine, par mois ou par année), les taux d'accroissement éventuellement considérés et le trafic cumulé ;
- les autres paramètres de trafic : vitesse, balayage et température équivalente ;
- les ACR des aéronefs du trafic calculés à leur masse d'exploitation.

A l'issue, la valeur de PCR calculé pour cette structure et ce trafic est indiquée au bon format de publication (type de chaussée / catégorie de résistance du sol support / restriction sur la pression des pneumatiques / mode de calcul).

3 Trafic

Période de calcul : 10 ans

Base de données avion : Ficav2022

Constructeur	Type	Modèle	Masse		Mouvements				Autres paramètres			ACR
			Type	Valeur (kg)	Nombre	Unités	Ta (%)	Trafic cumulé	Balayage (m)	Vitesse (km/h)	Teta eq. (°C)	
Airbus	A330	200	Autre	233900	18250	Mvts cumulés	0	18250	1.5	100	15	792.582
Boeing	B787	8	Autre	228300	25000	Mvts cumulés	0	25000	1.5	100	15	905.315
Militaires	A 400M	LHI	Autre	141400	36500	Mvts cumulés	0	36500	1.5	100	15	299.821

PCR : 908 F/D/W/T

Figure 4.17 : exemple de la partie Trafic du rapport PCR

Si l'utilisateur a coché *Trafic admissible*, les données de l'onglet *Admissibilité* intégrées au rapport sont les suivantes (Figure 4.18) :

- période de calcul, base de données avions et rapport du PCR précédemment calculé ;
- synthèse des aéronefs hors trafic de référence : identification des aéronefs (constructeur, type, modèle), masse et nombre de mouvement associés, autres paramètres de calcul (vitesse, balayage, température équivalente) ;
- l'ACR de ces aéronefs calculés à leur masse d'exploitation ;
- la valeur qui ratio ACR/PCR.

Il convient de noter que les aéronefs pour lesquels le ratio ACR/PCR est supérieur à 1,1 apparaissent en rouge, conformément à la procédure d'admissibilité. Pour conclure à l'admissibilité de ces aéronefs, une étude sur la durée de vie résiduelle de la chaussée doit être réalisée et des restrictions doivent être éventuellement appliquée sur la masse et/ou leur nombre de mouvements.

4 Trafic ajouté pour test d'admissibilité

Période de calcul : 10 ans

Base de données avion : Ficav2022

Rappel du PCR : 908 F/D/W/T

Constructeur, Type, Modèle	Masse		Mouvements				Autres paramètres			ACR	Rapport ACR/PCR
	Type	Valeur (kg)	Nombre	Unités	Ta (%)	Trafic cumulé	Balayage (m)	Vitesse (km/h)	Teta eq. (°C)		
Airbus, A350, 1000	Mrw	316900	10	Mvts/jour	10	58211	1.5	100	15	1032.52	1.137
Antonov, An-124,	Mrw	408000	20	Mvts/jour	10	116423	1.5	100	15	702.494	0.774
Boeing, B777, 300 ER	Mrw	352442	20	Mvts/jour	10	116423	1.5	100	15	1228.52	1.353
Airbus, A340, 200	Mrw	275900	20	Mvts/jour	10	116423	1.5	100	15	863.97	0.951

Figure 4.18 : exemple de la partie trafic admissible du rapport PCR

Enfin, la partie *Conclusion* (Figure 4.19) reprend exactement et exclusivement le contenu du champ éponyme saisi par l'utilisateur dans la fenêtre de configuration précédant la génération du rapport.

5 Conclusion

Un aéronef n'est pas admissible en l'état. Des restrictions doivent être appliquées sous peine d'engendrer une détérioration prématurée de la chaussée.

Figure 4.19 : exemple de conclusion du rapport PCR

5 Nomenclature des fichiers d'entrées et de sorties

Les nomenclatures des fichiers d'entrées et de sorties sont précisées dans le Tableau 5.1.

Tableau 5.1 : nomenclature des fichiers d'entrées et de sorties

Extension	Type	Dossier ou localisation par défaut
.zasp	Données d'entrée d'un projet aéronautique (auteur, avertissement, structure, trafic, conclusion, etc.)	C:\Utilisateurs\<nom de session Windows de l'utilisateur>\Documents
.pasp	Données d'entrée d'un projet aéronautique PCR (auteur, avertissement, structure, trafic, conclusion, etc.)	C:\Utilisateurs\<nom de session Windows de l'utilisateur>\Documents
.pdf	Aides logiciel	C:\Programmes (x86)\Alize2
.log	Historiques	C:\Utilisateurs\<nom de session Windows de l'utilisateur>\Documents
.txt	Résultats des calculs de dommage	C:\Windows\SysWOW64
.txt	Résultats des calculs avancés	C:\Windows\SysWOW64
.pdf	Note de calcul	C:\Utilisateurs\<nom de session Windows de l'utilisateur>\Documents

6 Exemples de calculs

6.1 Exemple de dimensionnement neuf d'une chaussée souple aéronautique

Cet exemple est issu du guide de dimensionnement des chaussées aéronautiques souples selon la méthode rationnelle [3]. Il est simplement illustré avec des copies d'écran du logiciel Alizé2®, module Aéronautique.

Afin de bien distinguer les éléments issus du guide (chapitre 8.3 du guide), ils seront indiqués en violet.

6.1.1 Données de trafic

➤ Caractéristiques du trafic projet

Les informations relatives aux aéronefs susceptibles de circuler sur la chaussée aéronautique à dimensionner sont regroupées dans le tableau (Tableau 6.1). La distinction est faite entre les décollages et les atterrissages : la masse et le nombre de mouvements pour chacun d'entre eux sont précisés. A noter qu'un mouvement représente soit un décollage, soit un atterrissage.

Tableau 6.1 : trafic retenu pour le dimensionnement

Aéronefs du trafic projet	Masse au roulage Mrw [t]	Masse à l'atterrissage Mlw [t]	Nombre de décollage/an	Nombre d'atterrissage/an	Trafic cumulé par type d'aéronefs (pour 10 ans)
A340-200	260	174,7	315,4	182,6	4 980
B777-300 ER	341	243,8	399	231	6 300
A330-300	230	184	296,4	171,6	4 680
A320-200 JUM	71	59,5	1 086,8	629,2	17 160
EMB 190 LR/AR	50,3	45,8	691,6	400,4	10 920
B737-100	42,4	35,1	509,2	294,8	8 040
AN124	392	319,5	22,8	13,2	360
B747-400 Cargo	377,8	287,1	98,8	57,2	1 560
KC135	136,8	101,1	38	22	600
B707-320B	146,8	108,3	38	22	600
A310-300	157	125,6	1 387	803	21 900
CASA CN325-100	15,1	13,6	1 387	803	21 900

*Les données étant extraites d'un trafic réel, les masses sont inférieures ou égales à celles de la base de données « Ficav », qui indique les valeurs Mrw et Mlw enregistrées au certificat de navigabilité.

La **période de calcul** est fixée à **10 ans**. Sur cette période l'accroissement du trafic est supposé nul. Il est alors possible de calculer le nombre de passages cumulés de chaque aéronef sur la période de calcul. Les résultats figurent dans le tableau (Tableau 6.1), colonne « Trafic cumulé par types d'aéronefs (pour 10 ans) ».

Pour chaque aéronef, la géométrie du train d'atterrissage et les conditions de chargement de ce dernier sont définies dans la base de données « Ficav » du STAC.

La liste des aéronefs empruntant la piste étant importante, il est proposé d'utiliser la méthode décrite au paragraphe 3.1.2.3 du guide [3] afin de réduire le nombre d'aéronefs pris en compte dans le dimensionnement.

Nous rappelons que cette méthode prend en compte, pour chaque aéronef, la charge à la roue la plus importante et la compare à la charge la plus importante de tout le trafic. Le coefficient r_j calculé pour chaque aéronef permet de considérer l'aéronef dimensionnant dans le cas où $r_j \geq 1\%$.

Le tableau (Tableau 6.2) présente les résultats de l'application de cette méthode. Seuls cinq aéronefs sont donc retenus dans la suite du calcul (aéronefs en vert dans le tableau).

Tableau 6.2 : détermination des aéronefs considérés comme dimensionnants (couleur verte)

Aéronefs du trafic projet	Pr _j [t]	n _j	P _j	r _j
A340-200	27,42	4 980	5,0%	4,6%
B777-300 ER	27,17	6 300	6,4%	5,5%
A330-300	27,93	4 680	4,7%	4,7%
A320-200 JUM	18,02	17 160	17,3%	1,9%
EMB 190 LR/AR	11,98	10 920	11,0%	0,2%
B737-100	11,57	8 040	8,1%	0,1%
AN124	19,31	360	0,4%	0,1%
B747-400 Cargo	24,23	1 560	1,6%	0,8%
KC135	17,82	600	0,6%	0,1%
B707-320B	17,55	600	0,6%	0,1%
A310-300	19,51	21 900	22,1%	3,7%
CASA CN325-100	3,8	21 900	22,1%	0,0%
	Pr _{jmax} = 27,93	n _{tot} = 99 000		

La piste à dimensionner est considérée comme une section circulée à vitesse élevée. Ainsi, la **vitesse de déplacement** de chaque aéronef est fixée à **100 km/h** (correspondant à une fréquence de 10 Hz) et le **balayage transversal** de chaque aéronef est alors caractérisé par un écart type égal à **0,75 m** (cf. paragraphe 3.1.3 du guide [3]).

➤ Renseignement du trafic dans Alizé2®

Il s'agit tout d'abord de sélectionner les avions du trafic projet. Pour simplifier l'exemple, seuls les avions considérés comme dimensionnants seront utilisés.

Afin de renseigner les différents avions du projet, il faut aller dans l'onglet *Trafic*. La sélection du premier avion du trafic projet est détaillée dans les Figure 6.1, Figure 6.2 et Figure 6.3. Il s'agit de l'Airbus A340-200.

Période de calcul (années) : 10

Constructeur	Type	Modèle	Masse		Mouvements			Autres paramètres			
			Type	Valeur (kg)	Nombre	Unités	Ta (%)	Trafic cumulé	Balayage (m)	Vitesse (km/h)	Teta eq.
Airbus	A340	200	Mnw	325000	0	Mvts/jo	0	0	1.5	100	15
Antonov											
ATR											
Boeing											
Bombardier											
Embraer											
Fokker											
Gulfstream											
Helico											
Ilyushin											
Mc Donnell Douglas											
Milanos											
Saab											
Tupolev											
Autres											
BoR											

Groupe

Autres paramè...

Figure 6.1 : sélection du constructeur du premier avion du trafic projet

Période de calcul (années) : 10												
+	Constructeur	Type	Modèle	Masse		Mouvements				Autres paramètres		
				Type	Valeur (kg)	Nombre	Unités	Ta (%)	Trafic cumulé	Balayage (m)	Vitesse (km/h)	Teta eq.
+ -	Airbus	A308	200	Mrw	275900	0	Mvts/jo	0	0	1.5	100	15
		A310										
		A318										
		A319										
		A320										
		A321										
		A330										
		A340										
		A350										
		A380										

Figure 6.2 : sélection du type du premier avion du trafic projet

Période de calcul (années) : 10												
+	Constructeur	Type	Modèle	Masse		Mouvements				Autres paramètres		
				Type	Valeur (kg)	Nombre	Unités	Ta (%)	Trafic cumulé	Balayage (m)	Vitesse (km/h)	Teta eq.
+ -	Airbus	A340	200	Mrw	275900	0	Mvts/jo	0	0	1.5	100	15
		300										
		500										
		600										

Figure 6.3 : sélection du modèle du premier avion du trafic projet

Comme dans les données les atterrissages et les décollages sont dissociés (masses et nombres de mouvement distincts), il faut alors ajouter deux fois les avions au trafic projet afin de pouvoir indiquer les renseignements concernant le décollage et les renseignements concernant les atterrissages (Figure 6.4).

Période de calcul (années) : 10												
+	Constructeur	Type	Modèle	Masse		Mouvements				Autres paramètres		
				Type	Valeur (kg)	Nombre	Unités	Ta (%)	Trafic cumulé	Balayage (m)	Vitesse (km/h)	Teta eq.
+ -	Airbus	A340	200	Mrw	275900	0	Mvts/jo	0	0	1.5	100	15
+ -	Airbus	A340	200	Mrw	275900	0	Mvts/jo	0	0	1.5	100	15
+ -	Boeing	B777	300 ER	Mrw	352442	0	Mvts/jo	0	0	1.5	100	15
+ -	Boeing	B777	300 ER	Mrw	352442	0	Mvts/jo	0	0	1.5	100	15
+ -	Airbus	A330	300	Mrw	240900	0	Mvts/jo	0	0	1.5	100	15
+ -	Airbus	A330	300	Mrw	240900	0	Mvts/jo	0	0	1.5	100	15
+ -	Airbus	A320	200	Mrw	70400	0	Mvts/jo	0	0	1.5	100	15
+ -	Airbus	A320	200	Mrw	70400	0	Mvts/jo	0	0	1.5	100	15
+ -	Airbus	A310	300	Mrw	164900	0	Mvts/jo	0	0	1.5	100	15
+ -	Airbus	A310	300	Mrw	164900	0	Mvts/jo	0	0	1.5	100	15

Figure 6.4 : trafic projet final

Il s'agit désormais de renseigner les autres paramètres de trafic. Les nombres de décollages et d'atterrissages sont connus par an, ainsi que les masses réelles associées, plus précises que celles de la base de données Ficav [7]. Ces masses réelles seront donc celles utilisées. L'exemple est détaillé pour le premier avion du trafic projet, pour les décollages, à savoir l'Airbus A340-200 avec 315 décollages/an à une masse de 260 t.

Par défaut, Alizé2® indique la masse maximale au roulage, Mrw, ainsi qu'une unité exprimée en nombre de mouvements par jours (Figure 6.4 *supra*).

Il convient donc de renseigner tout d'abord la masse réelle pour chaque avion (Figure 6.5).

Période de calcul (années) : 10												
+	Constructeur	Type	Modèle	Masse		Mouvements			Autres paramètres			
				Type	Valeur (kg)	Nombre	Unités	Ta (%)	Trafic cumulé	Balayage (m)	Vitesse (km/h)	Teta eq.
+ -	Airbus	A340	200	Autre	260000	0	Mvts/ar	0	0	1.5	100	15
+ -	Airbus	A340	200	Autre	174700	0	Mvts/jo	0	0	1.5	100	15
+ -	Boeing	B777	300 ER	Autre	341000	0	Mvts/jo	0	0	1.5	100	15
+ -	Boeing	B777	300 ER	Autre	243800	0	Mvts/jo	0	0	1.5	100	15
+ -	Airbus	A330	300	Autre	230000	0	Mvts/jo	0	0	1.5	100	15
+ -	Airbus	A330	300	Autre	184000	0	Mvts/jo	0	0	1.5	100	15
+ -	Airbus	A320	200	Autre	71000	0	Mvts/jo	0	0	1.5	100	15
+ -	Airbus	A320	200	Autre	59500	0	Mvts/jo	0	0	1.5	100	15
+ -	Airbus	A310	300	Autre	157000	0	Mvts/jo	0	0	1.5	100	15
+ -	Airbus	A310	300	Autre	125600	0	Mvts/jo	0	0	1.5	100	15

Figure 6.5 : renseignement de la masse au décollage du premier avion du trafic projet (ligne bleue)

Il convient ensuite d'indiquer le nombre de mouvements par an en sélectionnant l'unité « mvts/an » (nombre de décollages sur la Figure 6.6), puis en saisissant la valeur associée.

Période de calcul (années) : 10												
+	Constructeur	Type	Modèle	Masse		Mouvements			Autres paramètres			
				Type	Valeur (kg)	Nombre	Unités	Ta (%)	Trafic cumulé	Balayage (m)	Vitesse (km/h)	Teta eq.
+ -	Airbus	A340	200	Mrw	275900	0	Mvts/jour	0	0	1.5	100	15
+ -	Airbus	A340	200	Mrw	275900	0	Mvts/mois	0	0	1.5	100	15
+ -	Boeing	B777	300 ER	Mrw	352442	0	Mvts/mois	0	0	1.5	100	15
+ -	Boeing	B777	300 ER	Mrw	352442	0	Mvts/année	0	0	1.5	100	15
+ -	Airbus	A330	300	Mrw	240900	0	Mts cumulés	0	0	1.5	100	15
+ -	Airbus	A330	300	Mrw	240900	0	Mvts/jo	0	0	1.5	100	15
+ -	Airbus	A320	200	Mrw	70400	0	Mvts/jo	0	0	1.5	100	15
+ -	Airbus	A320	200	Mrw	70400	0	Mvts/jo	0	0	1.5	100	15
+ -	Airbus	A310	300	Mrw	164900	0	Mvts/jo	0	0	1.5	100	15
+ -	Airbus	A310	300	Mrw	164900	0	Mvts/jo	0	0	1.5	100	15

Figure 6.6 : renseignement du nombre de mouvements par an pour le premier avion du trafic projet (ligne bleue)

La Figure 6.7 montre les données de trafic une fois que tous les paramètres (types et modèles d'avions, masse et nombre de mouvements associés) sont renseignés.

Période de calcul (années) : 10												
+	Constructeur	Type	Modèle	Masse		Mouvements			Autres paramètres			
				Type	Valeur (kg)	Nombre	Unités	Ta (%)	Trafic cumulé	Balayage (m)	Vitesse (km/h)	Teta eq.
+ -	Airbus	A340	200	Autre	260000	315	Mvts/ar	0	3150	1.5	100	15
+ -	Airbus	A340	200	Autre	174700	183	Mvts/ar	0	1830	1.5	100	15
+ -	Boeing	B777	300 ER	Autre	341000	399	Mvts/ar	0	3990	1.5	100	15
+ -	Boeing	B777	300 ER	Autre	243800	231	Mvts/ar	0	2310	1.5	100	15
+ -	Airbus	A330	300	Autre	230000	296	Mvts/ar	0	2960	1.5	100	15
+ -	Airbus	A330	300	Autre	184000	172	Mvts/ar	0	1720	1.5	100	15
+ -	Airbus	A320	200	Autre	71000	1087	Mvts/ar	0	10870	1.5	100	15
+ -	Airbus	A320	200	Autre	59500	629	Mvts/ar	0	6290	1.5	100	15
+ -	Airbus	A310	300	Autre	157000	1387	Mvts/ar	0	13870	1.5	100	15
+ -	Airbus	A310	300	Autre	125600	803	Mvts/ar	0	8030	1.5	100	15

Figure 6.7 : trafic projet avec masses et nombre de mouvements renseignés

Il était indiqué dans les données du projet que la période de calcul est de 10 ans. Comme il s'agit de la période de calcul par défaut, il n'a donc pas été nécessaire de la modifier. Il en est de même pour la vitesse et le balayage (100 km/h et 1,5 m respectivement).

A ce stade, il est conseillé d'enregistrer le trafic projet. Comme indiqué sur la Figure 6.8, il faut cliquer sur le menu en haut à gauche (représenté par les trois traits horizontaux) et sélectionner *Enregistrer sous*. Il convient ensuite de choisir le répertoire d'enregistrement et d'attribuer un nom au projet.

ALIZE-LCPC 2.0

Projet

Charger

Enregistrer

Enregistrer sous

Paramétrer

Modèle	Masse	
	Type	Valeur (kg)
▼	Autre ▼	260000
▼	Autre ▼	174700
▼	Autre ▼	341000

Figure 6.8 : enregistrement du trafic projet

6.1.2 Température équivalente et risque de calcul

➤ Température équivalente retenue pour le projet et renseignement dans Alizé2®

Le **climat** choisi pour le dimensionnement est de **type 4**, à dominante tropicale avec une température équivalente : $\theta_{eq} = 28^{\circ}\text{C}$ (correspondant au cas particulier de la Guyane, cf. paragraphe 3.1.4).

Dans Alizé2®, la température équivalente par défaut est de 15°C. il convient donc de modifier cette valeur. Pour cela, il faut saisir la valeur pour chaque avion dans la colonne *Teta eq.* de l'onglet *Trafic* (Figure 6.9).

Période de calcul (années) : 10														
+	-		Constructeur	Type	Modèle	Masse		Mouvements				Autres paramètres		
						Type	Valeur (kg)	Nombre	Unités	Ta (%)	Trafic cumulé	Balayage (m)	Vitesse (km/h)	Teta eq.
+	-		Airbus	A340	200	Autre	260000	315	Mvts/ar	0	3150	1.5	100	28
+	-		Airbus	A340	200	Autre	174700	183	Mvts/ar	0	1830	1.5	100	28
+	-		Boeing	B777	300 ER	Autre	341000	399	Mvts/ar	0	3990	1.5	100	28
+	-		Boeing	B777	300 ER	Autre	243800	231	Mvts/ar	0	2310	1.5	100	28
+	-		Airbus	A330	300	Autre	230000	296	Mvts/ar	0	2960	1.5	100	28
+	-		Airbus	A330	300	Autre	184000	172	Mvts/ar	0	1720	1.5	100	28
+	-		Airbus	A320	200	Autre	71000	1087	Mvts/ar	0	10870	1.5	100	28
+	-		Airbus	A320	200	Autre	59500	629	Mvts/ar	0	6290	1.5	100	28
+	-		Airbus	A310	300	Autre	157000	1387	Mvts/ar	0	13870	1.5	100	28
+	-		Airbus	A310	300	Autre	125600	803	Mvts/ar	0	8030	1.5	100	28

Figure 6.9 : renseignement de la température équivalente

➤ Détermination de la classe de trafic

La méthodologie permettant la détermination de la classe de trafic est définie dans le GAN [4]. L'application de cette méthodologie au trafic retenu conduit au tableau (Tableau 6.3).

Tableau 6.3 : détermination de la classe de trafic par types d'aéronefs

Aéronefs du trafic projet	Groupe	F (mvts/j)	Classe de trafic
A340-200	5	1,27	CT4
B777-300 ER	5	1,73	CT4
A330-300	5	1,28	CT4
A320-200 JUM	3	4,70	CT2
A310-300	4	6,00	CT3

La classe de trafic du projet retenue est la plus élevée ; il s'agit donc de la **classe de trafic CT4**.

➤ Choix du risque de calcul et renseignement dans Alizé2®

Le **risque de calcul** est pris égal à **2,5%** puisque la classe de trafic annuel est supérieure à CT3 (recommandation du guide paragraphe 3.1.1).

La valeur du risque est renseignée dans l'onglet *Structure*. Lors de la sélection de l'onglet, une structure par défaut, modifiable par l'utilisateur, apparaît. Par défaut, Alizé2® affiche un risque de 5%. L'utilisateur peut alors modifier le risque de calcul soit en saisissant la valeur, soit en cliquant sur les boutons + et – afin d'augmenter ou diminuer la valeur (Figure 6.10).

Type de gnt en fondation : gnt1/g2

Nombre de couches : 5

Bibliothèque	Epaisseur (m)	Matériau	Module (MPa)	Nu (-)	Critère	Plan	Risque	Kc(RseR)
NFP98-086 2019	0.060	eb-bbmg1	f(T, f)	0.35	Aucun			
COLLÉ								
NFP98-086 2019	0.180	eb-gb3	f(T, f)	0.35	epsiT	Inf.	2.5	gb3
COLLÉ								
NFP98-086 2019	0.050	gnt-cg1	450	0.35	Aucun			
COLLÉ								
NFP98-086 2019	0.250	gnt-cg1	130	0.35	Aucun			
COLLÉ								
NFP98-086 2019	infini	pf2	50	0.35	epsiZ	Sup.		

Figure 6.10 : choix de la valeur du risque

6.1.3 Données de structure

➤ Choix des matériaux à mettre en œuvre

La classe de trafic définie précédemment est la classe CT4. Le climat choisi pour le dimensionnement est de type 4.

Le **niveau de sollicitation** est donc **NS4**.

Pour le niveau de sollicitation NS4 et pour les pistes en partie courante, le GAN [4] préconise un seul type de produit en couche de roulement : EB-BBA 2 (application du tableau 12, paragraphe 5.3).

En couche de liaison (application du tableau 13, paragraphe 5.3), les deux produits proposés sont EB-BBSG 1 ou EB-BBME 1 (non préconisé par ce guide [3]).

Il est fait le choix, pour la suite de l'étude, de retenir en couche de surface la seule **couche de roulement en matériau EB-BBA 2** (absence de couche de liaison). L'épaisseur de mise en œuvre est fixée à **6 cm**.

Pour le niveau de sollicitation NS4 et pour les pistes en partie courante, le GAN [4] conduit, en couche de base, à retenir soit un produit EB-GB 3, soit un produit EB-EME 2. Pour cet exemple, le matériau de **couche de base** choisi est un **EB-EME 2**.

Il est choisi d'utiliser une **couche de fondation** constituée de **Grave Non Traitée de catégorie 1**.

La classe de portance visée du projet est **PF2qs**. Dans le modèle de calcul, pour la détermination des sollicitations dans le corps de chaussée, le module associé à la plateforme support est la valeur limite inférieure de la classe, à savoir 80 MPa.

➤ Caractéristiques mécaniques des matériaux

Les caractéristiques mécaniques des matériaux choisis pour cet exemple sont fournies dans le tableau (Tableau 6.4). Il s'agit des valeurs conventionnelles minimales. Les valeurs des modules à différentes

températures et fréquences sont déduites des tableaux 20 et 23 du guide [3] indiquant les susceptibilités des modules aux variations de températures et de fréquence.

Tableau 6.4 : caractéristiques mécaniques des matériaux hydrocarbonés

Produit	E (15°C, 10Hz) [MPa]	E (10°C, 10Hz) [MPa]	E (28°C, 10Hz) [MPa]	ϵ_6 (10°C, 25Hz) [µdef]	$\beta = -1/b$	S_N	S_h
EB-BBA 2	5 500	7 315	1 760	100	5	0,25	-
EB-EME 2	14 000	16 940	7 000	130	5	0,25	(1)

(1) $S_h = 1$ si $e \leq 10$ cm, $S_h = 1 + 0,3(e-10)$ si $10 \text{ cm} < e < 15$ cm, $S_h = 2,5$ si $e \geq 15$ cm

Pour ce qui concerne la grave non traitée, celle-ci est subdivisée (pour le dimensionnement) en sous-couches de 0,25 m d'épaisseur. Le module de la GNT 1 est égal à 3 fois le module de la couche sous-jacente, jusqu'à ne pas dépasser la valeur limite maximale de 600 MPa. Le module de la première sous-couche sera donc égal à $80 \text{ MPa} \times 3 = 240 \text{ MPa}$, celui de la seconde à $240 \text{ MPa} \times 3 = 720 \text{ MPa}$, valeur qui est donc rabattue à 600 MPa.

➤ Renseignement de la structure dans Alizé2®

D'après l'exemple du guide, la structure de chaussée choisie est composée de :

- 6 cm de BBA ;
- une couche d'EME 2 ;
- de la GNT de catégorie 1 ;
- une PF de 80 MPa.

Comme indiqué sur la Figure 6.11, il faut partir du modèle de structure renseigné par défaut, et modifier les matériaux en cliquant sur les flèches en regard à droite. Une liste de matériaux apparaît alors. Il faut cliquer sur la ligne correspondant au matériau voulu. Pour la sélection du BBA, il convient de sélectionner au préalable la bibliothèque « Aero ».

Type de gnt en fondation : gnt1/gt

Nombre de couches : 5

Bibliothèque	Epaisseur (m)	Matériau	Module (MPa)	Nu (-)	Critère	Plan	Risque	Kc(Roel)
Aero	0.060	eb-bba1	f(T, f)	0.35	Aucun			
		eb-bba2	COLLÉ					
NFP98-086 2019	0.180	eb-bba3	f(T, f)	0.35	epsiT	Inf.	2.5	gb3
			COLLÉ					
NFP98-086 2019	0.050	gnt cg1	450	0.35	Aucun			
			COLLÉ					
NFP98-086 2019	0.250	gnt cg1	150	0.35	Aucun			
			COLLÉ					
NFP98-086 2019	infini	pf2	50	0.35	epsiZ	Sup.		

Figure 6.11 : choix du matériau utilisé en couche de roulement

Il faut réitérer l'opération pour le matériau utilisé en couche de base, la GNT et la plateforme. La structure de chaussée finale est présentée en Figure 6.12.

Type de gnt en fondation : gnt/gi

Nombre de couches : 5

Bibliothèque	Epaisseur (m)	Matériau	Module (MPa)	Nu (-)	Critère	Plan	Risque	Kc(Rsel)
Aero	0.060	eb-bba2	$\ell(T, f)$	0.35	Aucun			
COLLÉ								
NFP98-086 2019	0.180	eb-eme2	$\ell(T, f)$	0.35	epsiT	Inf.	2.5	eme2
COLLÉ								
NFP98-086 2019	0.050	gnt cg1	600	0.35	Aucun			
COLLÉ								
NFP98-086 2019	0.250	gnt cg1	240	0.35	Aucun			
COLLÉ								
NFP98-086 2019	infini	pf2qs	80	0.35	epsiZ	Sup.		

Figure 6.12 : structure de chaussée avec les matériaux choisis

6.1.4 Calcul des endommagements

Le calcul des endommagements s'effectue à deux niveaux dans la structure de chaussée :

- à la base de la couche de base (EB-EME 2) – endommagement par fatigue en traction (critère ϵ_t),
- au sommet du sol support – endommagement par déformations permanentes en compression (critère ϵ_{zz}).

La définition des épaisseurs relevant d'une procédure itérative menant à l'obtention d'un des deux endommagements proches de 1 (par valeurs inférieures), les calculs d'endommagement sont réalisés pour différentes structure. Deux d'entre elles sont présentées ici, à savoir :

- structure 1 – 6 cm de EB-BBA 2 + 15 cm de EB-EME 2 + 40 cm de GNT de catégorie 1,
- structure 2 – 6 cm de EB-BBA 2 + 12 cm de EB-EME 2 + 33 cm de GNT de catégorie 1.

Dans cet exemple, les calculs seront réalisés uniquement avec la structure 2.

Avant de réaliser les calculs, il faut modifier les épaisseurs en cliquant sur les flèches afin de faire varier les valeurs, ou en saisissant directement l'épaisseur souhaitée (Figure 6.13).

Type de gnt en fondation : gnt/gi

Nombre de couches : 5

Bibliothèque	Epaisseur (m)	Matériau	Module (MPa)	Nu (-)	Critère	Plan	Risque	Kc(Rsel)
Aero	0.060	eb-bba2	$\ell(T, f)$	0.35	Aucun			
COLLÉ								
NFP98-086 2019	0.120	eb-eme2	$\ell(T, f)$	0.35	epsiT	Inf.	2.5	eme2
COLLÉ								
NFP98-086 2019	0.080	gnt cg1	600	0.35	Aucun			
COLLÉ								
NFP98-086 2019	0.250	gnt cg1	240	0.35	Aucun			
COLLÉ								
NFP98-086 2019	infini	pf2qs	80	0.35	epsiZ	Sup.		

Figure 6.13 : modification des épaisseurs

En cliquant sur l'onglet *Dommages*, les calculs se lancent automatiquement. A la fin des calculs, la fenêtre de visualisation des courbes apparaît et l'utilisateur peut alors sélectionner les courbes qu'il souhaite afficher : courbes de dommages par avion (Figure 6.14) et/ou courbes de dommages cumulés (Figure 6.15).

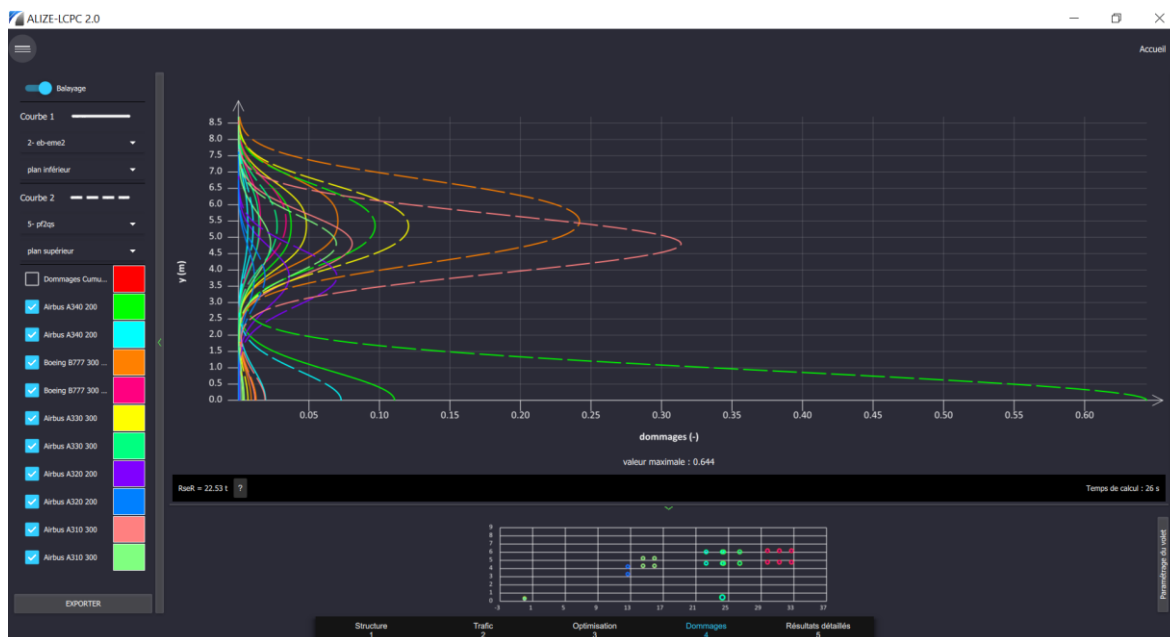


Figure 6.14 : résultats des calculs – dommages $EpsiT$ et $EpsiZ$ pour tous les avions du trafic projet

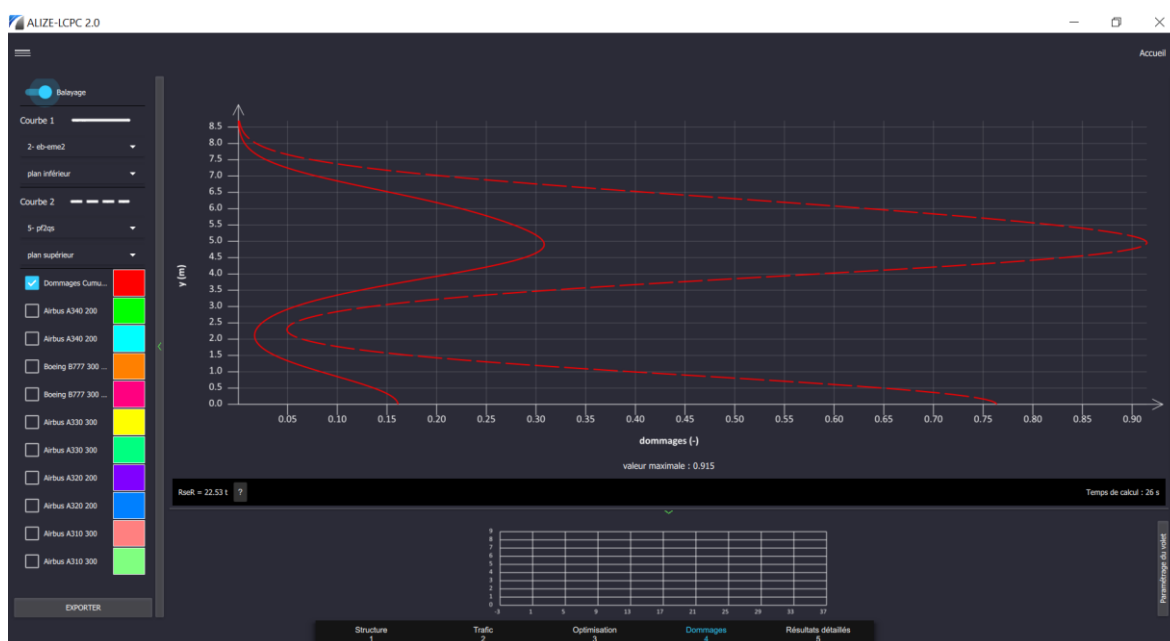


Figure 6.15 : résultats des calculs – courbes de dommages cumulés

6.2 Exemple d'étude d'admissibilité

6.2.1 Exemple 8.2.1 : critère de déformation permanente dimensionnant

Pour cet exemple, la structure et le trafic précédemment détaillés sont repris. Les différentes étapes liées au renseignement de la structure et du trafic ne sont pas détaillées à nouveau (voir section 6.1).

➤ Données d'entrée : structure et trafic de référence

Les données de structure sont renseignées en suivant les différentes étapes détaillées précédemment. Pour rappel, la structure considérée est celle illustrée en Figure 6.16.

Nombre de couches : 5

	Bibliothèque	Epaisseur (m)	Matériau	Module (MPa)	Nu (-)	Critère	Plan	Risque	Kc(RseR)
+	Aero	- 0.060 +	eb-bba2	f(T, f)	0.35	Aucun			
	COLLÉ								
+	NFP98-086 2019	- 0.180 +	eb-eme2	f(T, f)	0.35	epsiT	Inf.	- 2.5 +	eme2
	COLLÉ								
+	NFP98-086 2019	- 0.050 +	gnt cg1	600	0.35	Aucun			
	COLLÉ								
+	NFP98-086 2019	- 0.250	gnt cg1	240	0.35	Aucun			
	COLLÉ								
+	NFP98-086 2019	infini	pf2qs	80	0.35	epsiZ	Sup.		

Figure 6.16 : renseignement de la structure de chaussée

Le trafic de référence considéré est présenté en Figure 6.17.

Période de calcul (années) : 10

	Constructeur	Type	Modèle	Masse		Mouvements				ACR
				Type	Valeur (kg)	Nombre	Unités	Ta (%)	Trafic cumulé	
+	Airbus	A340	200	Autre	260000	315	Mvts/t	0	3150	692.0
+	Airbus	A340	200	Autre	174700	183	Mvts/t	0	1830	421.0
+	Boeing	B777	FREIGHTER	Autre	341000	399	Mvts/t	0	3990	731.9
+	Boeing	B777	FREIGHTER	Autre	243800	231	Mvts/t	0	2310	439.8
+	Airbus	A330	300	Autre	230000	296	Mvts/t	0	2960	644.0
+	Airbus	A330	300	Autre	184000	172	Mvts/t	0	1720	486.2
+	Airbus	A320	200 JUM	Autre	71000	1087	Mvts/t	0	10870	377.5
+	Airbus	A320	200 JUM	Autre	59500	629	Mvts/t	0	6290	303.9
+	Airbus	A310	300	Autre	157000	1387	Mvts/t	0	13870	499.5
+	Airbus	A310	300	Autre	125600	803	Mvts/t	0	8030	359.6

Figure 6.17 : renseignement du trafic de référence

➤ Calcul du PCR

En passant à l'onglet *PCR* et en cliquant sur *calculer*, le calcul de PCR se lance automatiquement. A l'issue, le résultat est directement donné par Alizé2® comme indiqué sur la Figure 6.18.

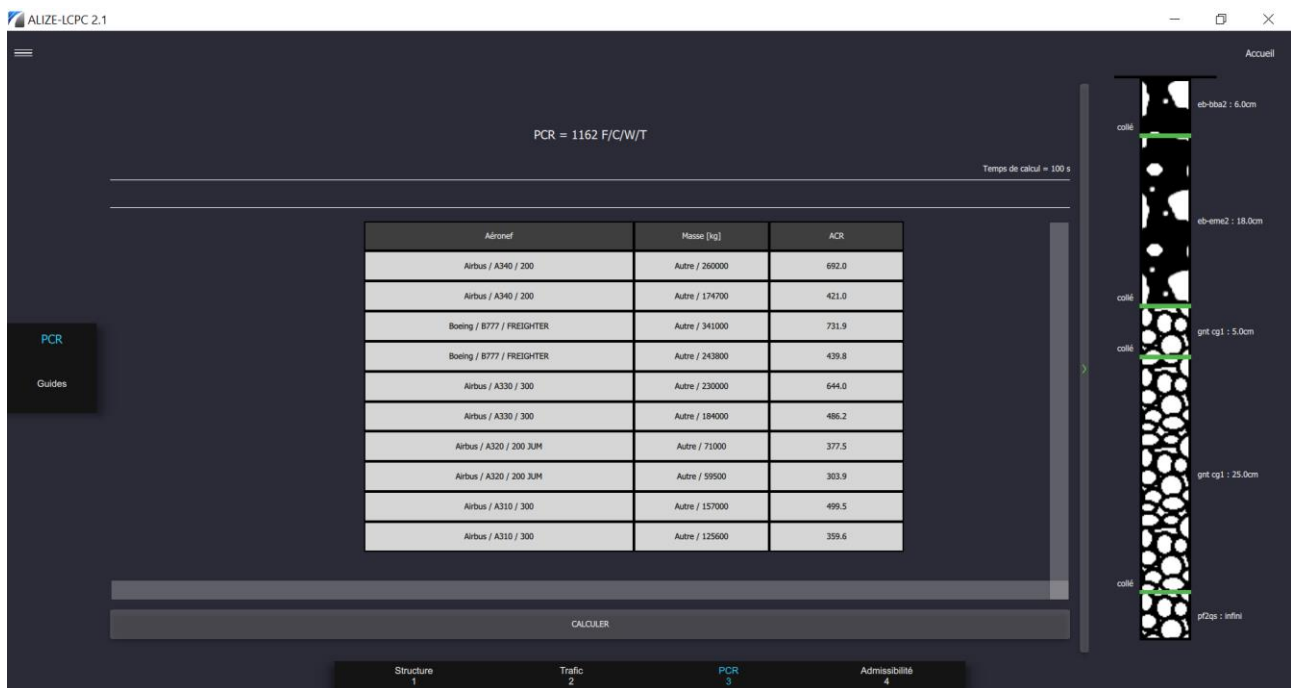


Figure 6.18 : résultat du calcul de PCR

➤ Etude d'admissibilité d'aéronefs hors trafic de référence

A partir de l'onglet *Admissibilité*, les différents avions hors trafic de référence peuvent être ajoutés (Figure 6.19). Leurs données de masse et de nombre de mouvements peuvent être renseignés (ici, les données relatives aux nombres de mouvements ont été volontairement masquées). En cliquant successivement sur *calculer*, les ratios ACR/PCR sont déterminés pour chaque aéronef. Dans l'exemple considéré ici, les deux aéronefs hors trafic de référence peuvent être acceptés sans aucune restriction, leur ACR étant strictement inférieur au PCR de la chaussée.

Constructeur	Type	Modèle	Masse		ACR	Rapport ACR/PCR
			Type	Valeur (kg)		
Airbus	A380	800	Mrw	574000	650.4	0.6
Boeing	B777	300 ER	Mrw	352442	787.7	0.7

Figure 6.19 : résultat de l'étude d'admissibilité d'aéronefs hors trafic de référence



Afin de s'assurer de l'impact des aéronefs hors trafic de référence sur le dommage cumulé, l'utilisateur se référera aux courbes disponibles dans les modules de dimensionnement, en renseignant l'ensemble du trafic (y compris les aéronefs hors trafic de référence).

6.2.2 Exemple 8.2.2 : critère de fatigue des matériaux bitumineux dimensionnant

Pour cet exemple, on considère une chaussée souple fictive dimensionnée suivant le critère de fatigue des enrobés.

➤ Données d'entrée : structure et trafic de référence

Les données de structure considérées sont les suivantes :

Nombre de couches : 5

Bibliothèque	Epaisseur (m)	Matériau	Module (MPa)	Nu (-)	Critère	Plan	Risque	Kc(RseR)
Aero	- 0.060 +	eb-bba2	f(T, f)	0.35	Aucun			
COLLÉ								
NFP98-086 2019	- 0.140 +	eb-gb3	f(T, f)	0.35	epsiT	Inf.	- 5.0 +	gb3
COLLÉ								
NFP98-086 2019	- 0.070 +	gnt cg1	600	0.35	Aucun			
COLLÉ								
NFP98-086 2019	- 0.250	gnt cg1	240	0.35	Aucun			
COLLÉ								
NFP98-086 2019	infini	pf2qs	80	0.35	epsiZ	Sup.		

Figure 6.20 : renseignement de la structure de chaussée

Le trafic de référence associé à la structure de chaussée précédemment détaillée est le suivant :

Période de calcul (années) : 10

Constructeur	Type	Modèle	Masse		Mouvements				ACR
			Type	Valeur (kg)	Nombre	Unités	Ta (%)	Trafic cumulé	
Airbus	A330	200	Mnw	233900	18250	Mvts cur	0	18250	649.1
Boeing	B787	8	Autre	228300	18250	Mvts cur	0	18250	687.7
Militaires	A 400M	LH1	Mnw	141400	18250	Mvts cur	0	18250	243.7

Figure 6.21 : renseignement du trafic de référence

➤ Calcul du PCR

À l'issue du calcul de PCR, Alizé2® affiche le résultat au format de publication correct, comme précisé sur la Figure 6.22. De plus, un message d'alerte apparaît, alertant sur la durée de vie résiduel.

PCR = 816 F/C/W/T		
La Durée de Vie Résiduelle est inférieure à 10 ans pour le critère EpsiT		
Aéronef	Masse [kg]	ACR
Airbus / A330 / 200	Mnw / 233900	649.1
Boeing / B787 / 8	Autre / 228300	687.7
Militaires / A 400M / LH1	Mnw / 141400	243.7

Figure 6.22 : résultat du calcul de PCR

7 Références bibliographiques

- [1] NF P 98-086, « Dimensionnement structure des chaussées routières - Application aux chaussées neuves ». AFNOR, 2019.
- [2] D. M. Burmister, « The theory of stresses and displacements in layered systems and applications of the design of an airport runway », *Proceedings of the Highway Research Board*, n° 123, p. 126-148, 1943.
- [3] STAC, *Guide technique « Méthode rationnelle de dimensionnement des chaussées aéronautiques souples »*, 2ème édition. 2016.
- [4] STAC, *Guide d'Application des Normes « Enrobés hydrocarbonés et enduits superficiels pour chaussées aéronautiques »*. 2009.
- [5] STAC, « Note d'information technique “La méthode ACR/PCR : outil de gestion du patrimoine” ». 2022.
- [6] STAC, *Guide de suivi et de renforcement des chaussées souples aéronautiques*. 2023.
- [7] STAC, « Applications Chaussées Aéronautiques ». <https://aca.stac.aviation-civile.gouv.fr/accueil>
- [8] ICAO, « Aerodrome Design Manual, Doc. 9157, Part 3 : Pavement ». 2020.
- [9] LCPC et SETRA, *Guide technique « Conception et dimensionnement des structures de chaussée »*. 1994.
- [10] NF EN 13286-7, « Mélanges avec ou sans liant hydraulique - Partie 7 : Essai triaxial sous charge cyclique pour mélanges sans liant hydraulique ». AFNOR, 2004.
- [11] STAC, *Guide de diagnostic structurel des chaussées aéronautiques*. 2022.

Annexes

A1 Chargement d'une bibliothèque personnelle de matériaux

A1.1 Introduction

Le logiciel Alizé2® permet à l'utilisateur de charger une bibliothèque de matériaux qu'il a définie préalablement dans un fichier au format csv.

Ce fichier peut être chargé à partir du logiciel Alizé2®, version 2.0.6.

A1.2 Chargement de la bibliothèque

Pour charger une bibliothèque, l'utilisateur ouvre la fenêtre de bibliothèques de matériaux. Pour cela, il accède à l'onglet *Structure* du sous-module *Dimensionnement neuf, ou ACR/PCR*. Dans la barre d'outils latérale de cet onglet, l'utilisateur clique sur le bouton *Bibliothèque matériaux* (Figure A4 - 1).

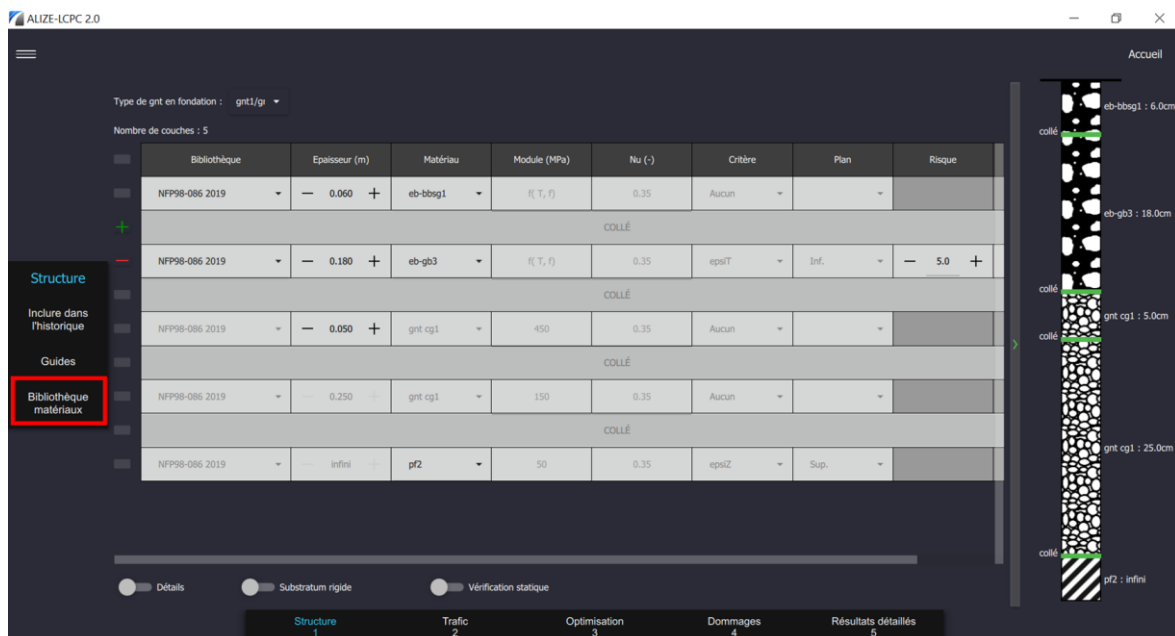


Figure A4 - 1 : ouverture de la fenêtre de visualisation des bibliothèques de matériaux

Une nouvelle fenêtre s'ouvre. L'utilisateur peut alors cliquer sur le bouton *Charger* (Figure A4 - 2), puis définir le chemin vers son fichier au format .csv.

Bibliothèque des matériaux

Bibliothèque : Catalogue 1998 **Charger**

Température (°C) : - 15 + Fréquence (Hz) : - 10 +

Statut	Nom	E (MPa)	nu	Epsi6 (10°C)	-1/b	SN	Sh (m)	Kc	Variations E(10Hz) = f(température)					
									T= -10°C	T= 0°C	T= 10°C	T= 20°C	T= 30°C	T= 40°C
system	bb	5400	0.35	100	5	0.25	standard	1.1	14800	12000	7200	3600	1300	1000
system	bbdr	3000	0.35	-	-	-	standard	-	8220	6670	4000	2000	720	560
system	bbme	9000	0.35	-	-	-	standard	-	24670	20000	12000	6000	2170	1670
system	gb1	7000	0.35	70	5	0.4	standard	1.3	18000	14000	9000	5000	2000	800
system	gb2	9300	0.35	80	5	0.3	standard	1.3	23000	18800	12300	6300	2700	1000
system	gb3	9300	0.35	90	5	0.3	standard	1.3	23000	18800	12300	6300	2700	1000
system	gb4	11000	0.35	100	5	0.3	standard	1.3	27200	22240	14550	7450	3190	1180
system	eme1	14000	0.35	100	5	0.3	standard	1	30000	24000	17000	11000	6000	3000
system	eme2	14000	0.35	130	5	0.25	standard	1	30000	24000	17000	11000	6000	3000

bitumineux mtlh et stlh béton gnt et snt

Figure A4 - 2 : chargement d'une bibliothèque utilisateur

Enfin, la bibliothèque étant chargée, l'utilisateur peut définir une structure utilisant ses matériaux (Figure A4 - 3).

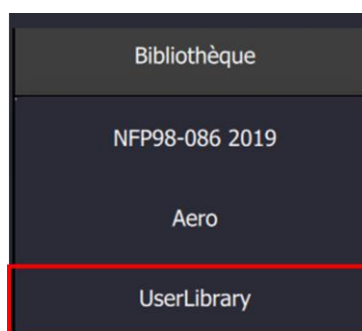


Figure A4 - 3 : choix de la bibliothèque utilisateur User Library 1

A1.3 Présentation du fichier

Ce fichier comprend deux types de lignes :

- les lignes débutant par le symbole « # » non lues par Alizé2® et permettant de commenter, décrire, ... ;
- les lignes débutant par le symbole « ! » définissant les matériaux.

Chaque ligne de matériau est constituée de 26 colonnes :

- le nom du matériau, choisi par l'utilisateur ;
- le type du matériau qui doit être : **bitum** (bitumineux), **beton** (béton), **trait** (matériaux traités aux liants hydrauliques – MTLH), **gntSo** (grave non traitée – GNT ou sol non traité) ou **soTrait** (sol traité aux liants hydrauliques – STLH), et tel que seuls les matériaux « bitum » sont utilisables dans le sous-module *Dimensionnement neuf* ;
- le nom de la bibliothèque, choisi par l'utilisateur ;
- E le module d'Young ;
- ν le coefficient de poisson ;
- Sigma6 la valeur moyenne de l'amplitude de contrainte, conduisant à une durée de vie en fatigue par flexion de 10^6 cycles, avec une probabilité de 50 %, sur un matériau d'âge supérieur ou égal à 360 jours (NF P98-233-1) ;
- Epsi6 la valeur moyenne d'amplitude de déformation conduisant à la rupture conventionnelle de l'échantillon sous 10^6 cycles avec une probabilité de 50 % (réduction de 50 % de la force initiale) ;
- 1/b avec b la pente de la loi de fatigue du matériau déterminée à partir du même essai par linéarisation bi-logarithmique entre 10^5 et 10^7 cycles ($-1 < b < 0$) ;
- b pour le calcul de $\epsilon_{z adm}$;
- à faible trafic pour le calcul de $\epsilon_{z adm}$;
- à fort trafic pour le calcul de $\epsilon_{z adm}$;
- Sn l'écart type sur le logarithme décimal du nombre de cycles entraînant la rupture par fatigue ;
- Sh l'écart type sur l'épaisseur totale des couches de matériaux d'assises mises en œuvre ;
- Kc le coefficient de calage ;
- Kd le coefficient de discontinuité ;
- E(-10°C) le module d'Young à -10°C, 10 Hz ;
- E(0°C) le module d'Young à 0°C, 10 Hz ;
- E(10°C) le module d'Young à 10°C, 10 Hz ;
- E(20°C) le module d'Young à 20°C, 10 Hz ;
- E(30°C) le module d'Young à 30°C, 10 Hz ;
- E(40°C) le module d'Young à 40°C, 10 Hz ;
- la description du matériau ;
- Ro la masse volumique sèche ;
- W la teneur en eau massique ;
- Ldang le facteur de conductivité thermique à l'état non gelé ;
- Ldag le facteur de conductivité thermique à l'état gelé.

A1.4 Définir un matériau

Suivant le type du matériau, les colonnes à renseigner sont indiquées par le symbole « X » dans le tableau ci-dessous. Les colonnes inutiles peuvent rester vides (sans valeurs).

	Bitumineux	Béton	MTLH	GNT et sols non traités	STLH
Nom du matériau	X	X	X	X	X
Type du matériau	bitum	beton	trait	gntSo	soTrait
Nom de la bibliothèque	X	X	X	X	X
E (MPa)		X	X	X	X
ν (-)	X	X	X	X	X
Sigma6 (MPa)		X	X		X
Epsi6 (μ)	X				
1/b	X	X	X		X
b				X	
À faible trafic				X	
À fort trafic				X	
Sn	X	X	X		X
Sh	(3)	(4)	X		X
Kc	X	X	X		X
Kd			X		X
E(-10°C) (MPa)	X				
E(0°C) (MPa)	X				
E(10°C) (MPa)	X				
E(20°C) (MPa)	X				
E(30°C) (MPa)	X				
E(40°C) (MPa)	X				
Description du matériau	X ⁽¹⁾	X ⁽¹⁾	X ⁽¹⁾	X ⁽¹⁾	X ⁽¹⁾
Ro (kg/m ³)	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾
W (%)	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾
Ldang (W/m.°C)	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾
Ldag (W/m.°C)	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾

⁽¹⁾ Facultatif.

⁽²⁾ Si aucune valeur n'est renseignée, une valeur nulle sera retenue. À renseigner obligatoirement si vérification au gel envisagée.

⁽³⁾ Dans le cas d'un matériau bitumineux, la valeur de Sh est déterminée par le logiciel en suivant la règle de calcul définie dans le paragraphe 6.1.4 du guide de dimensionnement [3].

⁽⁴⁾ Dans le cas d'un béton de ciment, la valeur de Sh est choisie par l'utilisateur durant le dimensionnement en fonction du matériel de mise en œuvre défini dans la norme NF P98-170 et en fonction de la position de la couche dans la chaussée (NF P98-086, Section 4.1.2). A noter que le module aéronautique n'autorise que l'import de matériaux bitumineux.

Notons que, à l'exception des modules d'élasticité aux différentes températures des matériaux bitumineux, les paramètres des matériaux « utilisateur » utilisés dans une structure étudiée sont modifiables (sans que les modifications ne soient sauvegardées dans le fichier .csv).

A1.5 Exemple de fichier sans mise en page

#,,,,,,,,,,,,,

#,,,,,,,,,,,,,

; Nom mat ; Type ; Nom biblio ; E ; nu ; sigma6 ; epsi6 ; 1/b ; b ; A faible trafic ; A fort trafic ; Sn ; "Sh" ; Kc ; Kd ; E(-10°C) ; E(0°C) ; E(10°C) ; E(20°C) ; E(30°C) ; E(40°C) ; Description ; ro ; w ; ldang ; ldag

!;beton 1;beton;User Library 1;35000;0.25;2.15;;16;;;1;;1.5;;;;;;;;;Beton test;2300;3;1.7;1.9

!;beton 2;beton;User Library 1;35000;0.25;2.15;;16;;;1;;1.5;;;;;;;;;Beton test;2300;3;1.7;1.9

!;beton 3;beton;User Library 1;35000;0.25;2.15;;16;;;1;;1.5;;;;;;;;;Beton test;2300;3;1.7;1.9

!;bitum 1;bitum;User Library 1;;0.35;;100;5;;;0.25;;1.1;;16000;13500;9310;4690;1800;1000;Bitum test;2350;1;2;2.1

!;mtlh 1;trait;User Library 1;3700;0.25;0.175;;10;;;0.8;0.025;1.5;1;;;;;;;;;MTLH test;1900;7;1.1;1.3

!;gnt 1;gntSo;User Library 1;200;0.35;;;-0.222;16000;12000;;;;;;;;;Gnt test;2200;4;1.8;2

!;stlh1;soTrait;User Library 1;3700;0.25;0.175;;11;;;1;0.05;1.4;1;;;;;;;;;STLH test;;7;1.1;1.3

!;stlh2;soTrait;User Library 1;;0.25;0.175;;11;;;1;0.05;1.4;1;;;;;;;;;STLH test;1900;7;1.1;1.3

A1.6 Exemple de fichier dans un tableur

#	Nom mat	Type	Nom biblio	E	nu	sigma6	epsi6	1/b	b	A faible trafic	A fort trafic	Sn	Sh	Kc	Kd	E(-10°C)	E(0°C)	E(10°C)	E(20°C)	E(30°C)	E(40°C)	Description	ro	w	ldang	ldag
!	beton 1	beton	User Library 1	35000	0.25	2.15		16				1		1.5								Beton test	2300	3	1.7	1.9
!	beton 2	beton	User Library 1	35000	0.25	2.15		16				1		1.5								Beton test	2300	3	1.7	1.9
!	beton 3	beton	User Library 1	35000	0.25	2.15		16				1		1.5								Beton test	2300	3	1.7	1.9
!	bitum 1	bitum	User Library 1		0.35		100	5				0.25		1.1		16000	13500	9310	4690	1800	1000	Bitum test	2350	1	2	2.1
!	mtlh 1	trait	User Library 2	3700	0.25	0.175		10				0.8	0.025	1.5	1							MTLH test	1900	7	1.1	1.3
!	gnt 1	gntSo	User Library 1	200	0.35				-0.222	16000	12000											Gnt test	2200	4	1.8	2
!	stlh1	soTrait	User Library 1	3700	0.25	0.175		11				1	0.05	1.4	1							STLH test		7	1.1	1.3
!	stlh2	soTrait	User Library 1		0.25	0.175		11				1	0.05	1.4	1							STLH test	1900	7	1.1	1.3

A2 Versions du logiciel

Numéro de version	Sortie	Corrections/Évolutions
2.0.8	08/2021	Module Dimensionnement aéronautique, sous-module <i>Dimensionnement neuf</i> des chaussées aéronautiques souples

Quelques sigles et acronymes

➤ Général

ACR :	<i>Aircraft Classification Rating</i>
GAN :	Guide d'Application des Normes
IFSTTAR :	Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (nouvellement Université Gustave Eiffel – UGE)
OACI :	Organisation de l'Aviation Civile Internationale
PCR :	<i>Pavement Classification Rating</i>
STAC :	Service Technique de l'Aviation Civile

➤ Structure et matériaux

BBA :	Béton Bitumineux Aéronautique
EME :	Enrobé à Module Elevé
GNT :	Grave Non Traitée

➤ Trafic

MLw :	Masse maximale à l'atterrissage (<i>Maximum Landing Weight</i>)
Mrw :	Masse maximale au roulage (<i>Maximum Ramp Weight</i>)
Mtow :	Masse maximale au décollage (<i>Maximum Take-off Weight</i>)
Ta :	Taux d'accroissement
RseR :	Roue Simple Equivalente Rationnelle