Alizé2

Documentation utilisateur

Dimensionnement routier

Vérification au gel

Mai 2021

Alizé2®, version 2.0.6

Documentation, version 2.1, mai 2021

Historique des versions : voir annexe A2 Versions

Rédaction
Jacques Kerveillant[1]

Contribution
Denis Lièvre[1]
Barthélémy Morvan[1]
Jean-Michel Piau[1]

Relecture
Denis Lièvre[1]
Barthélémy Morvan[1]
Jean-Michel Simonin[1]
Christian Tessier[1]

[1] *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 HISTORIQUE DU LOGICIEL 7
1.1.1 Les débuts 7
1.1.2 L'essor d'Alizé 7
1.1.3 Les derniers développements 8
1.2 REFONTE DU LOGICIEL 8
1.3 NOUVEAUTÉS ET POINTS FORTS DE LA VERSION 2 9
1.3.1 Choix des outils et méthodes de développement 9
1.3.2 Compatibilité avec la version Alizé-LCPC® 1.5 9
1.3.3 Principales nouveautés de Alizé2® 9
1.4 PRIORITÉS DE DÉVELOPPEMENT DES DIFFÉRENTS MODULES 10

2 DESCRIPTION DU LOGICIEL 11

2.1 CONFIGURATION DES PARAMÈTRES GÉNÉRAUX D'ALIZÉ2® 11
2.2 ERGONOMIE ET NAVIGATION 12
2.3 GESTION D'UN PROJET 14
2.3.1 Création d'un nouveau projet 14
2.3.2 Sauvegarde d'un projet 15
2.3.3 Ouverture d'un projet existant 15
2.3.4 Fermeture d'un projet 16
2.3.5 Suppression d'un projet 16

3 MODULE DIMENSIONNEMENT ROUTIER 17

3.1 GÉNÉRALITÉS 18
3.1.1 Menu contextuel 18
3.1.2 Schéma de la structure 18
3.1.3 Bibliothèques des structures et des matériaux 18
3.1.4 Guides 21
3.1.5 Inclusion dans l'historique 23
3.1.6 Vérification au gel 24
3.2 DIMENSIONNEMENT MÉCANIQUE STANDARD 25
3.2.1 Onglet Structure 25
3.2.2 Onglet Charge 30
3.2.3 Onglet Trafic 32
3.2.4 Onglet Valeurs admissibles 33
3.2.5 Onglet Résultats 37

4 VÉRIFICATION AU GEL 47

4.1 VÉRIFICATION D'UNE CHAUSSÉE ROUTIÈRE 47
4.1.1 Généralités 47
4.1.2 Onglet Structure 48
4.1.3 Onglet Conditions météo 52
4.1.4 Onglet Qpf 54
4.1.5 Onglet Vérification 59

5 BIBLIOGRAPHIE 70

ANNEXES 71

A1 CHARGEMENT D'UNE BIBLIOTHÈQUE PERSONNELLE DE MATÉRIAUX 71

A1.1 INTRODUCTION 71
A1.2 CHARGEMENT DE LA BIBLIOTHÈQUE 71

A1.3 PRÉSENTATION DU FICHIER 72
A1.4 DÉFINIR UN MATÉRIAU 73
A1.5 EXEMPLE DE FICHIER SANS MISE EN PAGE 75
A1.6 EXEMPLE DE FICHIER DANS UN TABLEUR 75
A2 VERSIONS 76
A2.1 LOGICIEL 76
A2.2 DOCUMENTATION 77
LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES 78

1 Introduction

Alizé2® est un logiciel de dimensionnement des structures de chaussées s'appuyant sur la méthode française de dimensionnement et conforme à la norme de dimensionnement des structures de chaussées neuves NF P98-086 [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.

1.1 Historique du logiciel

1.1.1 Les débuts

Dans les années 1950, la recherche française dans le domaine des transports travaille à l'implémentation d'une méthode basée sur le calcul des contraintes et de la résistance à une charge pour classer et sélectionner certaines structures de chaussées.

La nécessaire reconstruction du réseau routier français à la suite de l'hiver 1962/1963, le plus froid sur la durée du XXe siècle[1], accélère l'automatisation des calculs de structures routières. Ainsi démarre l'élaboration du logiciel Alizé-LCPC®, initialement commandé à une société de développement informatique, en 1963.

Dès 1964, le développement est assuré au LCPC en Fortran, avec la saisie des données sur cartes ou rubans perforés et des sorties uniquement imprimées. L'implantation d'Alizé sur l'ordinateur central Iris 80 permet la saisie des données via des terminaux connectés, avec toutefois une interface en mode texte uniquement.

1.1.2 L'essor d'Alizé

À partir de 1976, le programme ministériel de lancement des renforcements coordonnés du réseau routier national accentue les besoins d'un tel logiciel de dimensionnement, axé dans ses premières versions sur la mécanique de base. Les recommandations et guides techniques de l'époque puis les normes éditées par la suite fixent le cadre des méthodes de calcul en comparant les contraintes et déformations calculées par le logiciel à des valeurs admissibles.

Ces évolutions s'accompagnent d'investissements en ordinateurs puissants pour réaliser les simulations nécessaires.

Au cours des années 1970, le LCPC propose à des entreprises françaises de BTP d'envergure internationale ainsi qu'aux maîtres d'ouvrages étrangers la mise à disposition du logiciel Alizé-LCPC® et son utilisation par un expert du LCPC, cette prestation pouvant inclure la concession du logiciel et la formation d'un agent à son utilisation.

[1] https://fr.wikipedia.org/wiki/Hiver_1962-1963_en_Europe

Les années 1980 voient l'essor de la micro-informatique et l'augmentation de la puissance de calcul des ordinateurs personnels. Le moteur de calcul est optimisé, toujours en fortran, pour rendre possible un usage local.

Au cours des années 1990, l'interface homme machine est repensée et développée en Visual Basic pour la rendre plus conviviale. La commercialisation de cette version 1 d'Alizé-LCPC® débute en 2003, incluant des fenêtres graphiques et des enregistrements personnalisés des résultats.

1.1.3 Les derniers développements

Dans la lancée de sa sortie commerciale, Alizé-LCPC® poursuit son développement pour répondre aux demandes des utilisateurs, à l'évolution des normes, mais aussi pour proposer des modules nouveaux en bénéficiant de l'augmentation de la puissance de calcul des ordinateurs.

La dernière version 1.5 d'Alizé-LCPC®, développée en Visual Basic 6, sort en 2013 et intègre ainsi :

- le module Dimensionnement routier de base pour le dimensionnement des structures sous chargement standard (jumelage ou roue simple) ;
- le module gel-dégel (vérification au gel) qui nécessite un calcul thermique conformément à la norme en vigueur ;
- le module aéronautique qui nécessite de nombreux calculs sous différentes configurations de chargement. Ce module concrétise une longue collaboration entre le LCPC, puis l'Ifsttar et le STAC ;
- le module charges spéciales qui permet d'effectuer des calculs avec des configurations de charges différentes pour des applications spécifiques comme les chaussées aéroportuaires ou les chaussées urbaines (tramway) ;
- le module rétro-calcul (ou calcul inverse) qui nécessite des calculs itératifs dans un schéma d'optimisation.

A ces modules commercialisés s'ajoutent diverses fonctionnalités « de recherche » développées pour – et parfois avec – les nombreux partenaires de l'Ifsttar sur le dimensionnement des infrastructures de transport.

1.2 Refonte du logiciel

En 2016, la direction de l'Ifsttar décide la refonte complète du logiciel pour répondre à différents enjeux. En premier lieu, la maintenance de l'application Alizé-LCPC® 1.5 devient délicate du fait de la vieillesse du langage VB6 et de ses vulnérabilités (fin du support Microsoft depuis mars 2008). Partant, ce projet donne l'occasion de revoir l'ergonomie de la version 1 en passant à un environnement plus moderne, plus agréable et facile d'appropriation. Enfin, la révision de la norme de dimensionnement NF P98-086 [1] en mai 2019 réclamant l'adaptation du logiciel représente également une opportunité de changement.

Une nouvelle équipe s'est ainsi bâtie autour de ce nouveau projet.

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*.

À noter que les deux premiers modules intègrent la vérification du bon comportement de la structure aux cycles de gel-dégel.

1.3 Nouveautés et points forts 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.

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

Alizé2® permet, au sein d'un projet, de charger des fichiers de structures (.stu) et de charges (.chg) générés par la version 1.5 d'Alizé-LCPC®, et ainsi de poursuivre une étude de dimensionnement débutée dans l'ancienne version.

Inversement, il reste possible avec Alizé2® d'enregistrer une structure ou une charge aux formats de la version Alizé-LCPC® 1.5.

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 ;
- une fonctionnalité de couplage des structures a été ajoutée afin que la vérification au gel puisse être examinée sur la même structure que celle mise en place dans les modules de dimensionnement ;
- la fenêtre principale se présente comme une succession d'onglet 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 ;
- la définition de l'assise est intégrée dans la composition de la structure ;
- le calcul des valeurs admissibles est maintenant intégré et lié à la structure. Il est également mis à jour automatiquement à chaque modification de la structure, donc entre autres à chaque modification de l'épaisseur de l'assise ;
- la partie *Résultats* offre la possibilité de modifier directement les épaisseurs de la structure ;
- de nouvelles courbes de résultat sont mises à disposition ;

- 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.

Ces fonctionnalités seront présentées plus en détail au chapitre « Description du logiciel ».

1.4 Priorités de développement des différents modules

L'équipe projet travaille à la mise au point des prochaines fonctionnalités et des prochains modules selon les priorités suivantes :

- module « Dimensionnement aéronautique » (2021) ;
- module « Rétrocalculs » ;
- partie mécanique « Expert » du module Dimensionnement routier.

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.

La partie sur la « Gestion des bases de données » sera développée ultérieurement.

2 Description du logiciel

La fenêtre d'accueil du logiciel (Figure 2-1) présente quatre photos illustrant chacune un module de l'application :

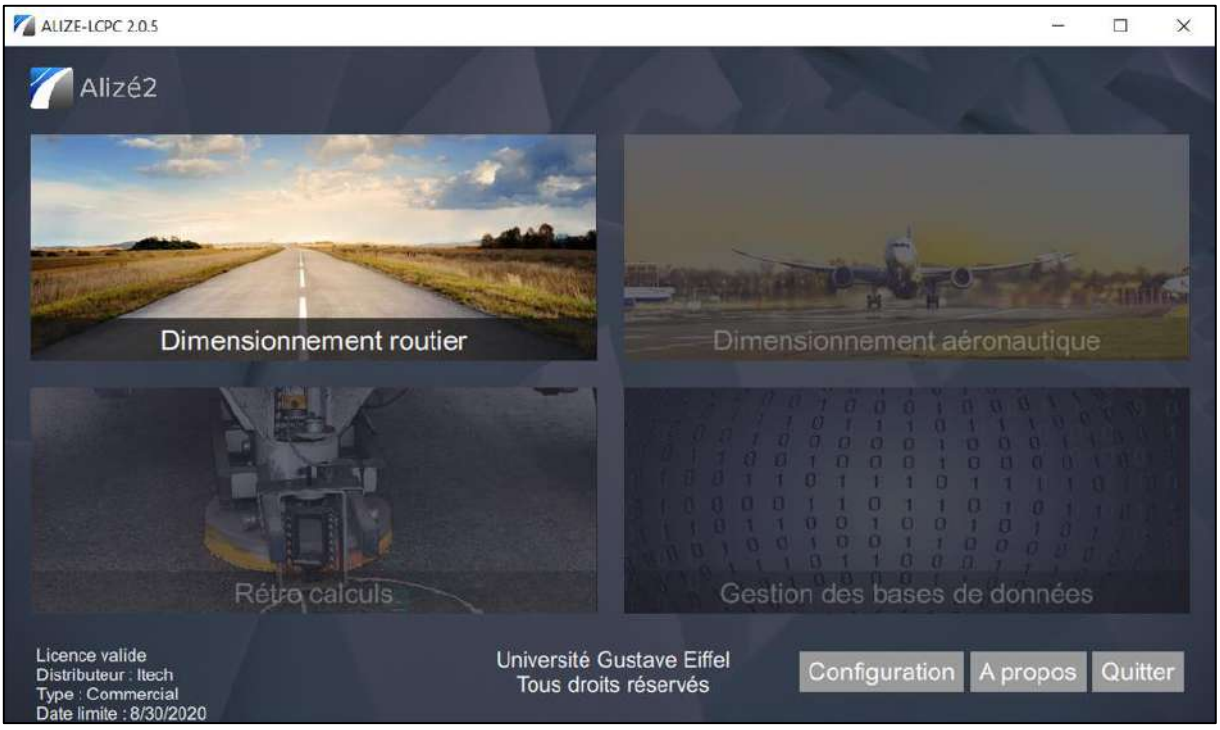


Figure 2-1 : fenêtre d'accueil de l'application

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.

2.1 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®.

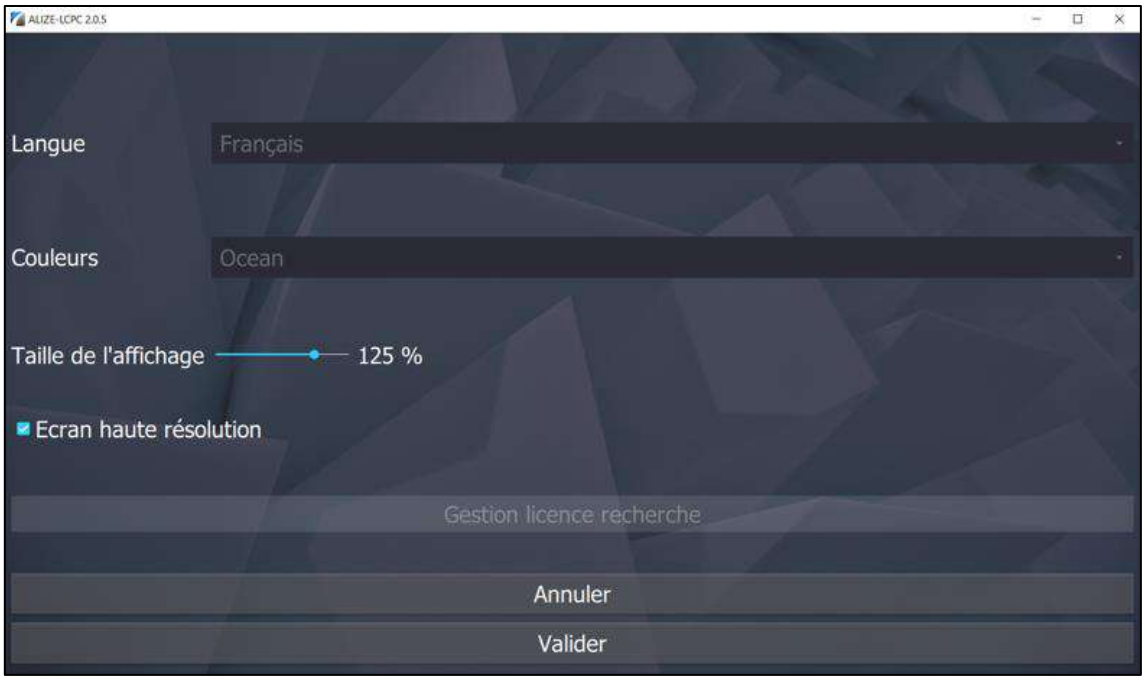


Figure 2-2 : fenêtre de configuration des paramètres

Par ailleurs, dans n'importe quel écran d'Alizé2® :

- 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 %.

Enfin, le bouton *Gestion licence recherche* permet de saisir la clef du logiciel débloquant les fonctionnalités recherche liées à cette clef. Ces licences sont fournies par l'Université Gustave Eiffel à ses partenaires dans le cadre de projets de recherche et leur durée se limite à celle du partenariat.

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

2.2 Ergonomie et navigation

L'utilisation de l'application repose sur un principe de navigation : par clics successifs sur les onglets, le contenu de la fenêtre évolue pour offrir à l'utilisateur les fonctionnalités souhaitées.

Ainsi, typiquement, pour paramétrer un projet de dimensionnement routier, par exemple, l'utilisateur effectuera les manipulations successives suivantes :

- sur la fenêtre d'accueil, clic sur le bouton du module de dimensionnement routier ;
- clic sur le bouton *Standard* ;
- clic sur l'un des boutons pour créer ou ouvrir un projet ;
- après paramétrage de la structure dans le premier écran, clic sur l'onglet *Charge* pour définir les caractéristiques de la charge appliquée (Figure 2-3) ;
- clic sur l'onglet *Trafic* et saisie des données ;
- clic sur l'onglet *Valeurs admissibles* et saisie des données ;
- clic sur l'onglet *Résultats*.

L'apparence générale d'une fenêtre, illustrée par la Figure 2-3, se compose de :

- un menu contextuel en haut à gauche (cadre rouge n°1), 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°2), permet de revenir à la fenêtre initiale de l'application ;
- un ou des « volets » (cadre rouge n°3). 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 :
  - 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 ;

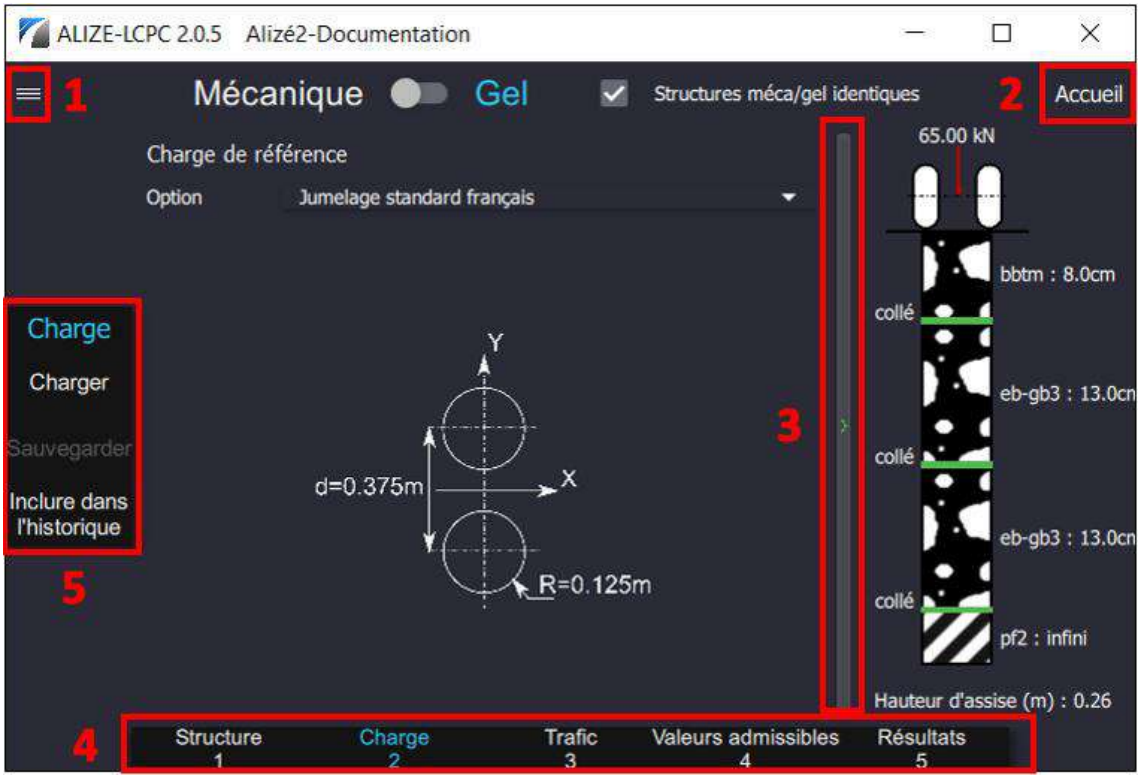


Figure 2-3 : éléments généraux de navigation – exemple de l'onglet Charge pour un dimensionnement routier standard

- une barre de navigation en bas (cadre rouge n°4), 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 présentés ci-dessus ne sont présents que s'ils sont nécessaires pour l'utilisation de la fenêtre courante.

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

2.3 Gestion d'un projet

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

2.3.1 Création d'un nouveau projet

Une fois dans le module voulu, l'utilisateur doit cliquer sur le bouton *Nouveau projet* (Figure 2-4) :

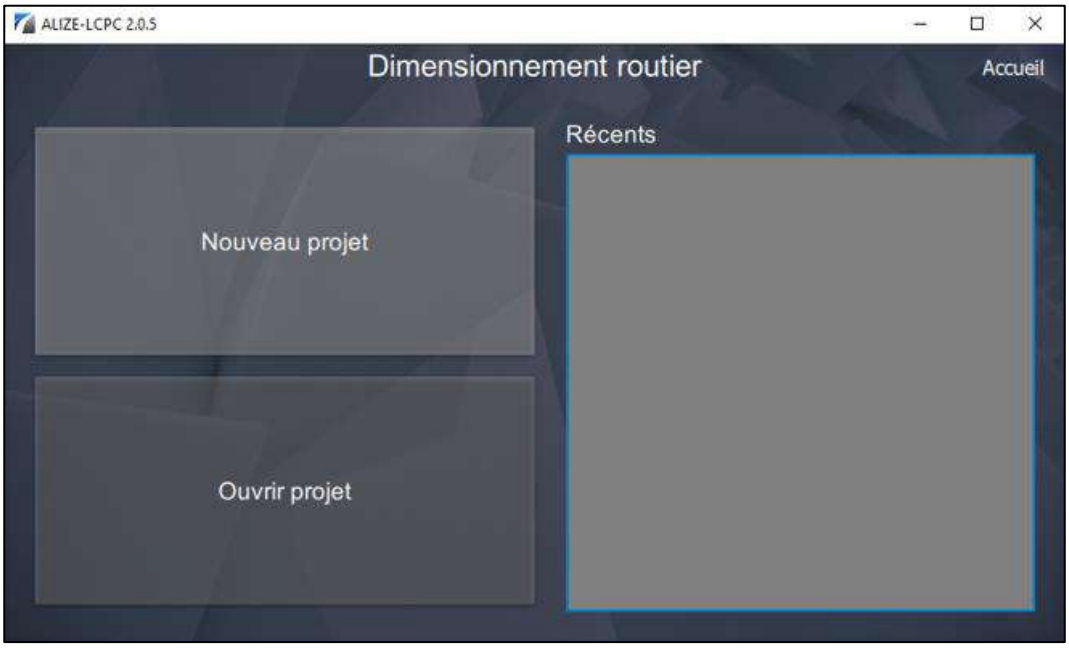


Figure 2-4 : fenêtre d'ouverture et de création de nouveau projet

La fenêtre suivante (Figure 2-5) permet de renseigner divers champs relatifs au projet et utilisés par la suite pour la génération du rapport mécanique (voir section 3.2.5 Onglet Résultats) :

L'avertissement permet à l'utilisateur d'attirer l'attention du destinataire du rapport sur un ou des 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.

Figure 2-5 : fenêtre de définition du nouveau projet

2.3.2 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 2-3).

Une liste d'options s'ouvre. Il est possible (Figure 2-6) 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 2-6 : options du menu au sein du projet

2.3.3 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 2-4), 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 2-4).

- en cours d'utilisation d'Alizé2®, il est également possible de passer par le menu *Charger*, depuis le module en cours d'utilisation (Figure 2-6).

2.3.4 Fermeture d'un projet

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

- soit en cliquant sur le bouton *Accueil*. Un message d'avertissement apparaît alors (Figure 2-7) :

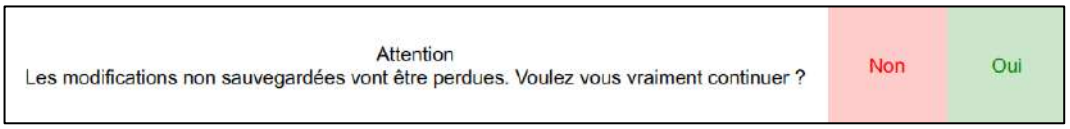


Figure 2-7 : message d'avertissement avant la fermeture du projet

- soit en fermant tout simplement la fenêtre Alizé2®.

2.3.5 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.

3 Module Dimensionnement routier

Le module Dimensionnement routier comporte trois sous-modules (Figure 3-1) :

- un sous-module *Standard* ;
- un sous-module *Calcul de valeurs admissibles* ;
- un sous-module *Expert*.

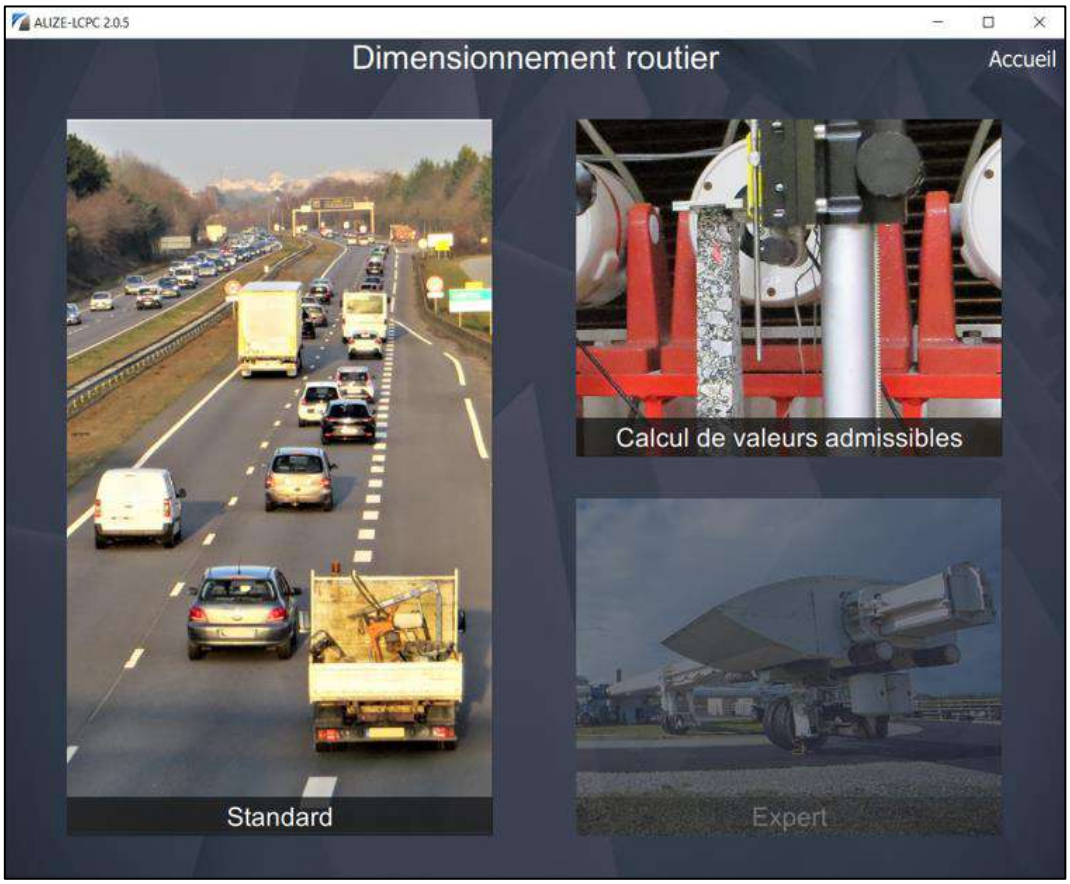


Figure 3-1 : le dimensionnement routier et ses trois sous-modules

Le sous-module *Standard* permet à l'utilisateur de réaliser un dimensionnement routier classique conformément à la norme en vigueur en suivant les différentes étapes de la partie Mécanique, avant de s'assurer de sa compatibilité aux hivers rigoureux ou exceptionnels dans sa partie Vérification au gel.

Le sous-module *Calcul de valeurs admissibles* est dédié au calcul des contraintes et déformations admissibles pour une couche déterminée. L'utilisateur définit alors un trafic et un matériau avant d'obtenir le résultat des calculs. Un calcul inverse du trafic ou du risque est également possible.

Le sous-module *Expert* offre à l'utilisateur des fonctionnalités de calcul avancé tels que le calcul de variantes en structure ou le dimensionnement de structures soumises à des charges spéciales (véhicules exceptionnels, engins de chantiers, ponts roulants, containers, …).

3.1 Généralités

3.1.1 Menu contextuel

Tout au long des différentes étapes du dimensionnement, le menu contextuel représenté par trois traits horizontaux, en haut à gauche, permet de charger un projet existant et d'enregistrer le projet courant (Figure 2-6).

Il permet aussi d'accéder à deux guides établis en 2019 :

- le guide des interfaces ;
- le guide des chaussées hors section courante.

Ces guides sont donc accessibles depuis tous les onglets, par ce menu. Leur utilisation est présentée à la section 3.1.4 Guides.

3.1.2 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, ainsi que la charge qui lui est appliquée (Figure 3-2).

Les couches sont séparées par des interfaces colorées selon leur état : collé (vert), semi-collé (jaune) ou glissant (rouge).

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

Enfin, la hauteur d'assise est indiquée sous le schéma et correspond à la somme, calculée automatiquement, des épaisseurs des couches définies comme constituant l'assise de la structure.

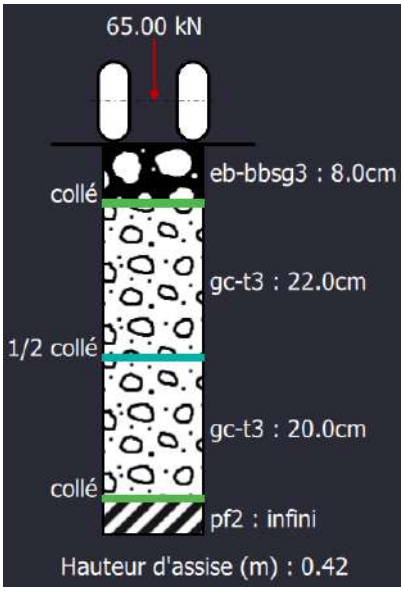


Figure 3-2 : schéma de la structure étudiée et de sa charge

3.1.3 Bibliothèques des structures et des matériaux

➢ La bibliothèque des structures

Cette bibliothèque permet de sélectionner une structure prédéfinie, en choisissant successivement (Figure 3-3) :

- dans la colonne gauche :
  - le type de voie : VRS ou VRNS ;
  - la classe de portance ;
  - la phase de vie de la chaussée dans le cas d'une structure mixte ;
  - la classe de trafic ;
- puis, dans la colonne centrale la fiche correspondant au type de structure désiré.

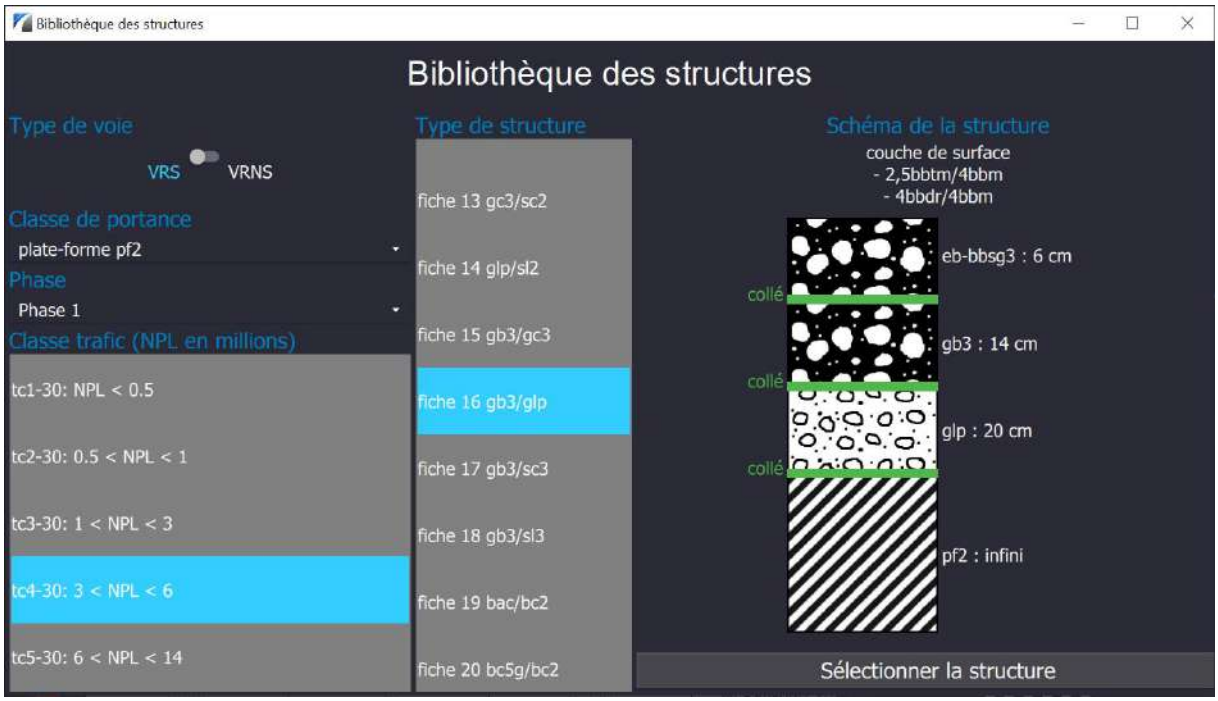


Figure 3-3 : sélection d'une structure dans la bibliothèque

Si la structure est disponible dans la colonne droite, le schéma correspondant s'affiche. En cliquant sur le bouton *Sélectionner la structure*, la fenêtre se ferme automatiquement et la structure sélectionnée vient s'appliquer dans la fenêtre principale d'Alizé2®.

Cette bibliothèque ne se base pas sur la bibliothèque de matériaux de la dernière norme NF P98-086 de 2019 [1].

➢ La bibliothèque des matériaux

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

Pour ce faire, l'utilisateur dispose de trois bibliothèques (Figure 3-4, cadre rouge en haut à gauche) :

- le catalogue 1998 (première bibliothèque proposée dans ALIZE-LCPC, fournie dans le cadre du guide de dimensionnement des chaussées [3])
- la bibliothèque issue de la norme NF P98-086 de 2011 ;
- la bibliothèque issue de la norme NF P98-086 de 2019 [1].

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

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

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'onglets (cadre rouge en bas).

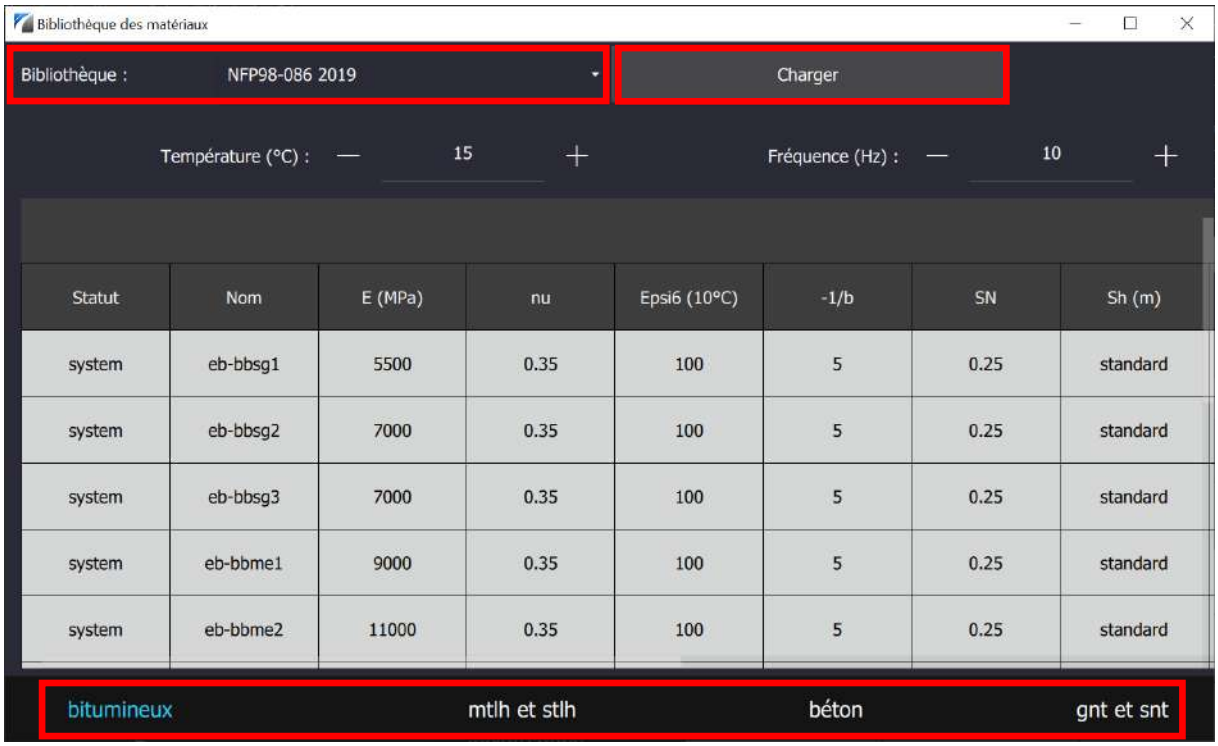


Figure 3-4 : caractéristiques des matériaux de la bibliothèque

Par ailleurs, l'option *Charger* (cadre rouge 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
system	eb-bbsg3	7000	0.35	100	5	0.25	standard	1.1
system	eb-bbme1	9000	0.35	100	5	0.25	standard	1.1
system	eb-bbme2	11000	0.35	100	5	0.25	standard	1.1
Enrobé bitumineux bb à module élevé classe 2				100	5	0.25	standard	1.1
system	bbm	5500	0.35	-	-	-	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 10Hz.

3.1.4 Guides

➢ Le guide des interfaces

Ce guide renseigne les différentes **natures d'interface** possibles (Figure 3-6) selon les types de chaussées (souples, à structures mixtes, en béton de ciment, etc.).

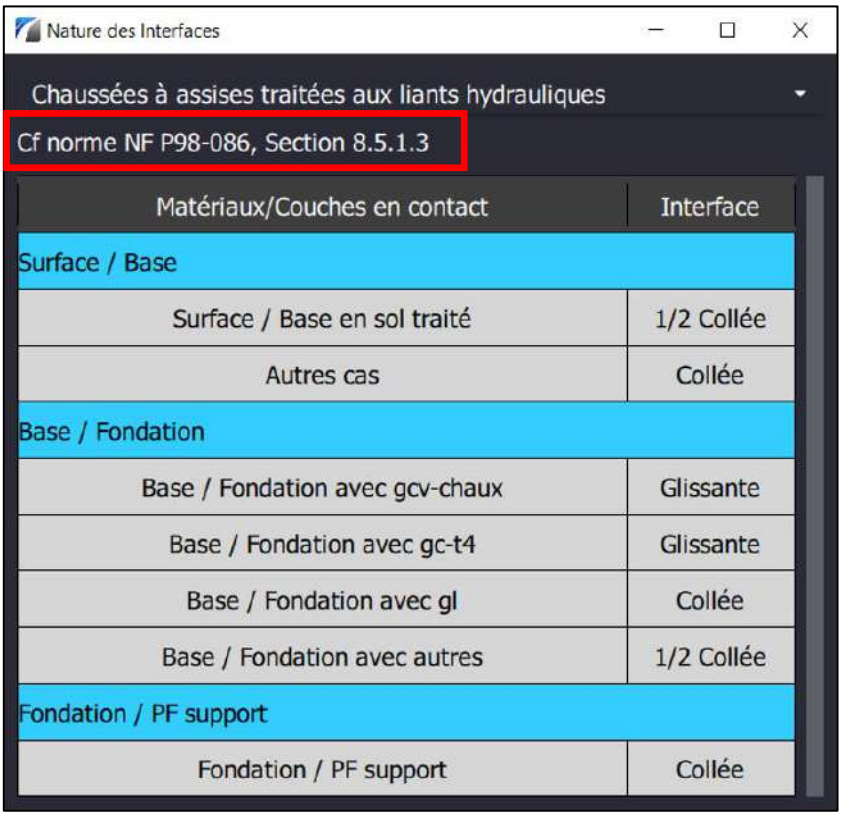


Figure 3-6 : nature des interfaces selon les types de chaussées

Pour chaque type de chaussée :

- un tableau indique la nature des interfaces entre les différentes couches en fonction des matériaux qui les composent ;
- Alizé2® indique le paragraphe de la norme NF P98-086 [1], auquel l'utilisateur peut se référer pour plus de détails (Figure 3-6, cadre rouge)

➢ Le guide des chaussées hors section courante

Ce guide donne des informations sur différents paramètres (TMJA, CAM, Risque –Figure 3-7) pour les cas particuliers de chaussées suivants :

- bretelles ;
- aires de service – aires de stationnement ;
- bandes d'arrêt d'urgence ;
- giratoires.

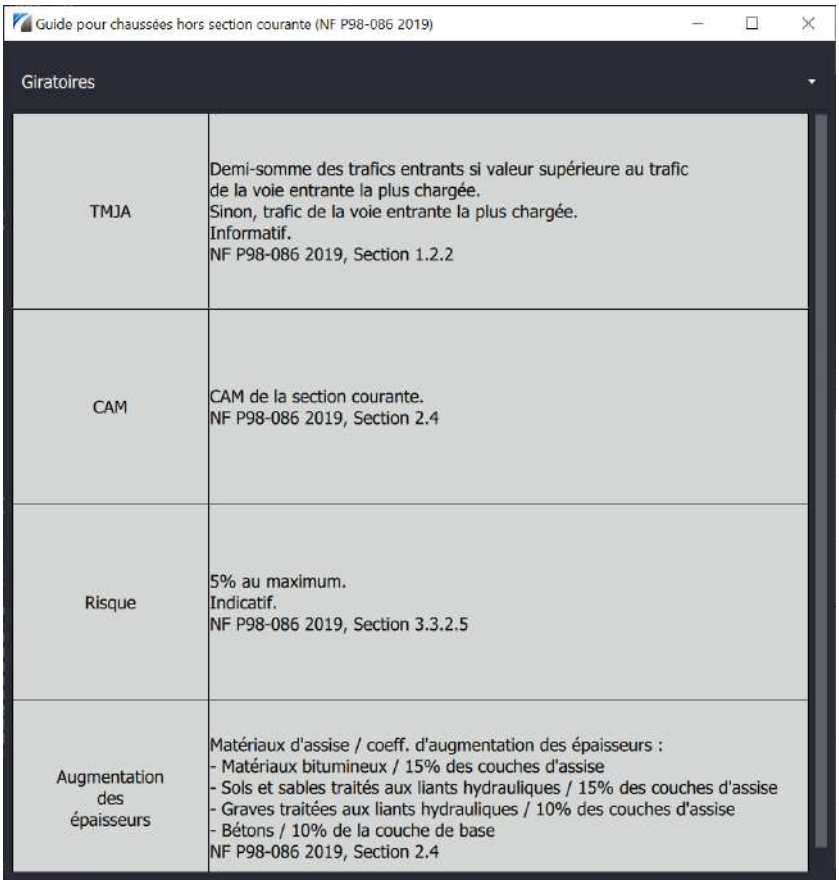


Figure 3-7 : guide pour chaussées hors section courante – exemple des giratoires

Pour chaque situation, il indique la référence de la section concernée dans la norme NF P98-086 2019 [1].

- Les guides CAM et Risque

Les guides CAM et Risque, disponibles lors du calcul des valeurs admissibles, permettent respectivement la détermination du coefficient d'agressivité moyen (CAM) et la valeur du risque. Pour cela, l'utilisateur sélectionne les différentes options qui correspondent au dimensionnement en cours de la chaussée (Figure 3-8 et Figure 3-9) :

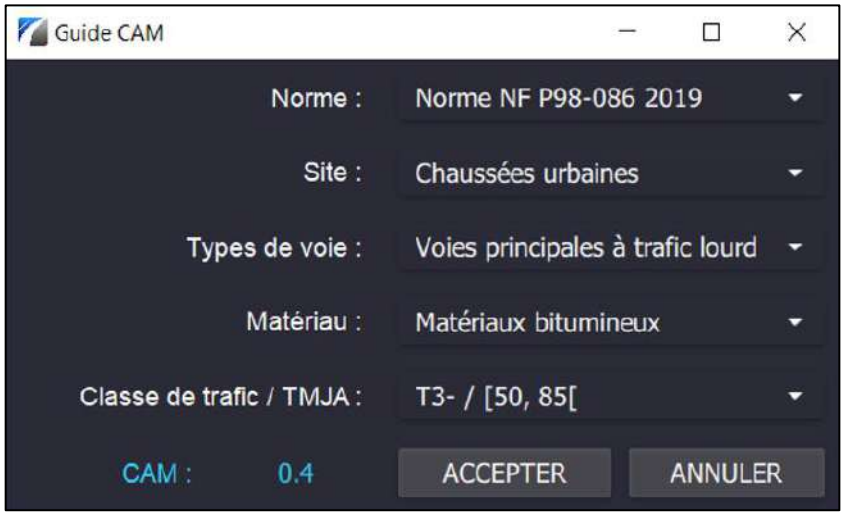


Figure 3-8 : détermination du coefficient CAM

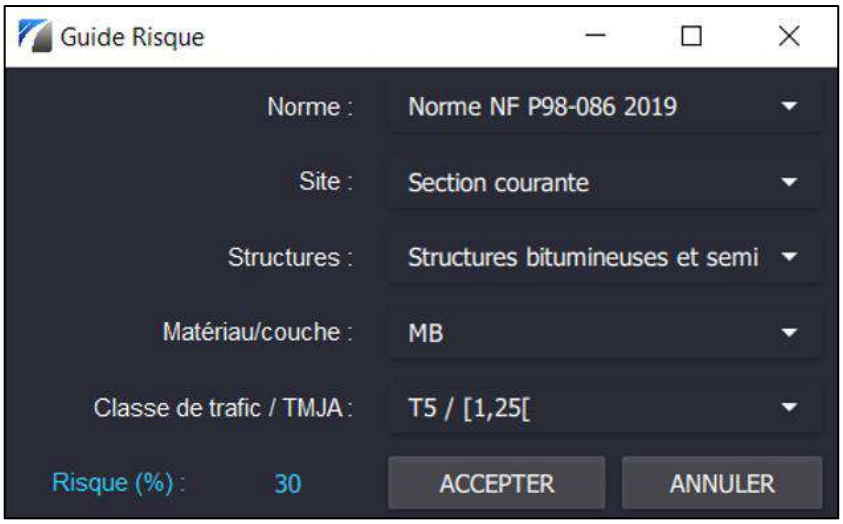


Figure 3-9 : détermination du risque

La valeur résultante, affichée en bleu, s'actualise automatiquement. Lorsque l'utilisateur a renseigné l'ensemble des champs, il peut cliquer sur le bouton *Accepter* pour reporter la valeur dans le champ correspondant.

Pour le CAM comme pour le risque, il est important de parcourir les champs de haut en bas. En effet, chaque option proposée dépend des choix antérieurs de l'utilisateur.

3.1.5 Inclusion dans l'historique

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 par exemple). Il est enregistré :

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

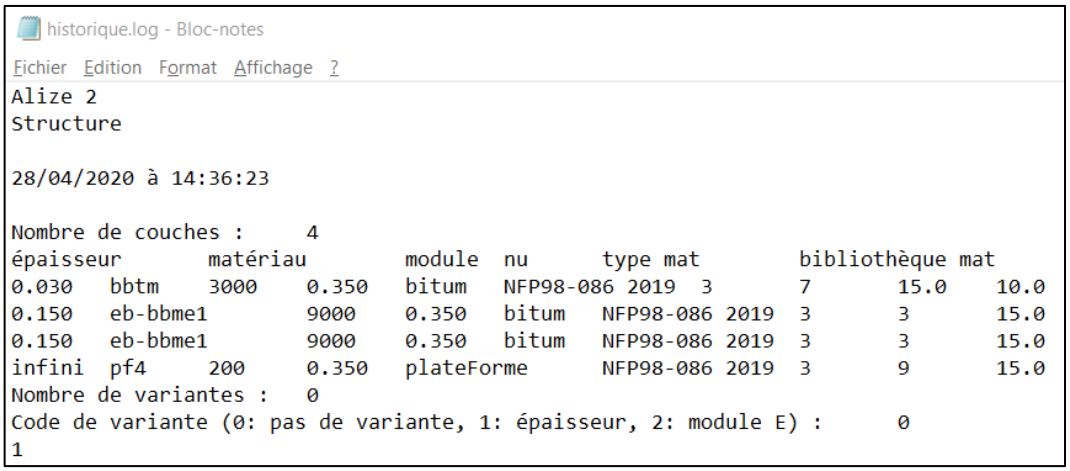
C:\Utilisateurs\<nom de session Windows de l'utilisateur>\Documents

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 :

- un titre : Alize 2 ;
- un sous-titre : un nom correspondant à l'onglet courant (Structure, Charge, Trafic routier, Valeurs admissibles, Résultat de calcul) ;
- 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).


historique.log - Bloc-notes

Fichier Edition Format Affichage ?

```
Alize 2
Structure

28/04/2020 à 14:36:23

Nombre de couches :     4
épaisseur       matériau        module  nu      type mat        bibliothèque mat
0.030   bbtm    3000    0.350   bitum   NFP98-086 2019  3       7       15.0    10.0
0.150   eb-bbme1        9000    0.350   bitum   NFP98-086 2019  3       3       15.0
0.150   eb-bbme1        9000    0.350   bitum   NFP98-086 2019  3       3       15.0
infini  pf4     200     0.350   plateForme      NFP98-086 2019  3       9       15.0
Nombre de variantes :   0
Code de variante (0: pas de variante, 1: épaisseur, 2: module E) :      0
1
```

Figure 3-10 : 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.

3.1.6 Vérification au gel

La vérification au gel d'une structure de chaussée routière fait l'objet d'un module dédié.

Se reporter au chapitre 4 « Vérification au gel ».

3.2 Dimensionnement mécanique Standard

Une fois le projet ouvert ou nouvellement créé (voir section 2.3 Gestion d'un projet), l'utilisateur va pouvoir réaliser son dimensionnement mécanique en passant par les différentes étapes nécessaires matérialisées par la barre d'onglets en bas d'écran (Figure 3-11) :

Figure 3-11 : barre d'onglets du sous-module Standard – partie mécanique

3.2.1 Onglet Structure

Le premier onglet permet de définir la structure à dimensionner (Figure 3-12).

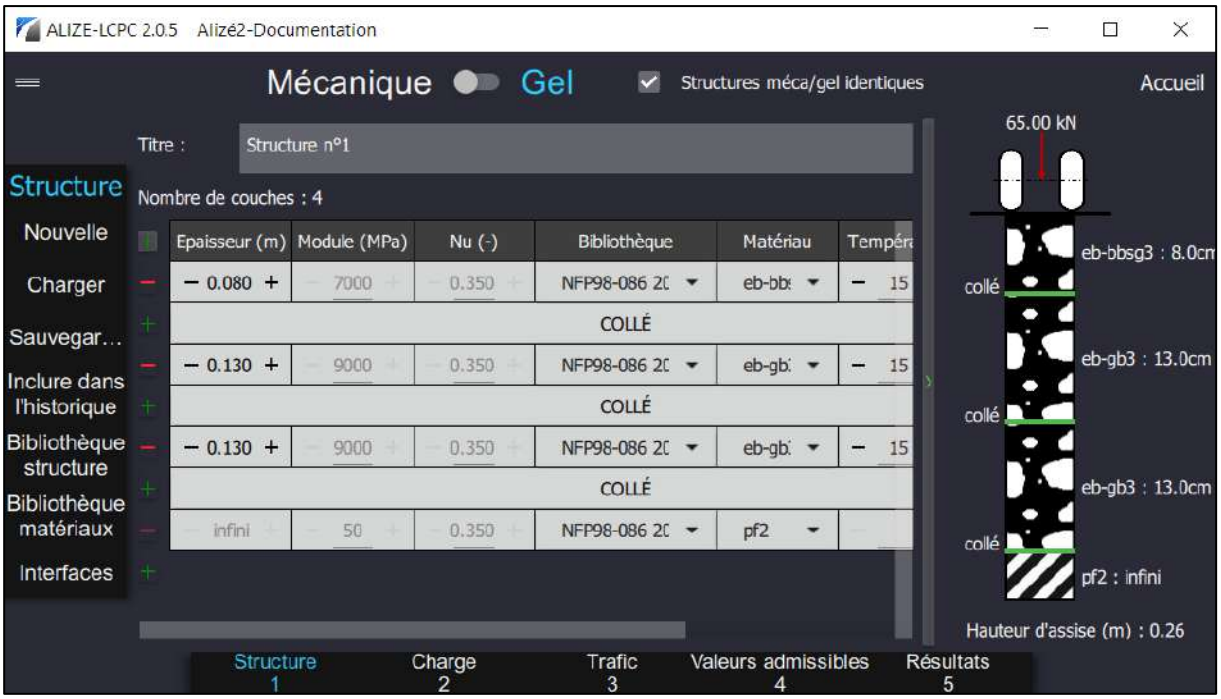


Figure 3-12 : vue globale de l'onglet Structure

- Titre de la structure

  L'utilisateur a la possibilité d'attribuer un titre à la structure (Figure 3-13) :

Figure 3-13 : attribution d'un titre à la structure

  L'attribution d'un titre présente un intérêt en cas de sauvegarde : l'utilisateur peut réutiliser la structure d'une route qu'il connaît, tester différents types de structure, etc.

Ce titre apparaît également dans le fichier texte de la structure sauvegardée (Figure 3-14) ainsi que dans l'historique utilisateur et le rapport mécanique (voir section 3.2.5 Onglet Résultats) :

structure 1.sru

```
1  Alize 2
2  Structure
3
4  21/04/2020 à 09:55:51
5  Structure n°1
6  Nombre de couches : 4
7  épaisseur   matériau    module  nu  type
8  0.080   eb-bbsg3    7000    0.350   bitum
9  0.130   eb-gb3  9000    0.350   bitum   N
10 0.130   eb-gb3  9000    0.350   bitum   N
11 infini  pf2 50  0.350   plateForme  NFP98
12 Nombre de variantes :   0
13 Code de variante (0: pas de variante, 1:
14 1
15
```

Figure 3-14 : extrait du fichier de sauvegarde de la structure

- Tableau de données

Une structure prédéfinie est présentée, avec 4 couches de matériaux dont les caractéristiques sont regroupées dans un tableau (Figure 3-15) affichant pour chaque couche :

- son épaisseur ;
- son module ;
- son coefficient de Poisson ;
- le matériau la constituant et la bibliothèque d'origine (par défaut la bibliothèque correspondant à la norme 2019 est retenue) ;
- sa température ;
- sa fréquence ;
- son appartenance ou non à l'assise de la structure.

Epaisseur (m)	Module (MPa)	Nu (-)	Bibliothèque	Matériau	Température	Fréquence	Assise
− 0.080 +	7000	0.350	NFP98-086 2019	eb-bbsg3	− 15 +	− 10 +	
COLLÉ							
− 0.130 +	9000	0.350	NFP98-086 2019	eb-gb3	− 15 +	− 10 +	
COLLÉ							
− 0.130 +	9000	0.350	NFP98-086 2019	eb-gb3	− 15 +	− 10 +	
COLLÉ							
infini	50	0.350	NFP98-086 2019	pf2			

Figure 3-15 : tableau de données de l'onglet Structure

Certaines valeurs sont modifiables et celles qui ne le sont pas sont grisées.

❖ Modification de valeurs numériques

L'épaisseur d'une couche, sa température et sa fréquence sont des données modifiables. Les boutons + et – situés à côté des valeurs permettent d'augmenter ou diminuer la valeur de base par pas respectif de 1 cm (Figure 3-16), 1 °C ou 1 Hz.

Figure 3-16 : modification de l'épaisseur d'une couche

Ces paramètres peuvent également être modifiés en saisissant leur 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*.

Pour les températures et les fréquences, la plage de valeurs s'étend respectivement de -15°C à 60°C et de 2 à 30 Hz. Un message rouge avertit cependant l'utilisateur si leurs valeurs standard (15°C, 10 Hz) sont modifiées.

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

❖ 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. À partir de là, il pourra choisir le matériau désiré dans la colonne adjacente.

Quatre options, dont trois sont des bibliothèques de matériaux, sont proposées (*Figure 3-17*) :

- la première bibliothèque est le catalogue 1998 ;
- la deuxième bibliothèque est issue de la norme NF P98-086 de 2011 ;
- la troisième bibliothèque est issue de la norme NF P98-086 de 2019 [1] ;
- *autre* permet à l'utilisateur de définir un matériau hors bibliothèque.

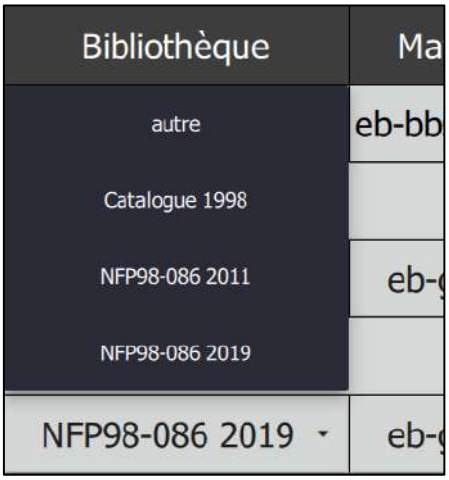


Figure 3-17 : choix d'une bibliothèque de matériaux

Si l'utilisateur choisit *autre* après avoir choisi le matériau d'une bibliothèque, alors les paramètres de départ de son matériau seront ceux du matériau de la bibliothèque, et le nom sera *nom_du_materiau_précédent mod*.

Par défaut, la bibliothèque correspondant à la dernière norme en vigueur est retenue, à savoir NF P98-086 2019 [1], qui constitue une mise à jour de la version précédente de 2011.

❖ Choix du matériau

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

Pour le modifier, l'utilisateur doit cliquer sur l'intitulé du matériau, faisant ainsi apparaître une liste de 5 familles de matériaux (Figure 3-18, cadre n°1) :

- les matériaux bitumineux ;
- les matériaux traités aux liants hydrauliques (MTLH) ;
- les bétons ;
- les graves non traitées et les sols (GNT/Sols) ;
- les sols traités aux liants hydrauliques (STLH) ;

Figure 3-18 : choix d'une famille de matériaux et d'un matériau

En cliquant sur la famille voulue, une liste de matériaux apparaît sur la droite (Figure 3-18, cadre n°2) et permet à l'utilisateur de sélectionner le matériau correspondant à la couche.

Les familles étant de tailles inégales, il peut être nécessaire d'utiliser la molette de la souris pour faire défiler la liste de tous les matériaux d'une famille. Le cliqué-glissé fonctionne aussi.

❖ Ajout et suppression d'une couche

Toute couche peut être supprimée, à condition toutefois de conserver au minimum deux couches à la structure. La couche inférieure aura toujours une épaisseur infinie.

Pour supprimer une couche, il suffit de cliquer sur le bouton avec le symbole – rouge situé en regard de la couche, sur la gauche du tableau (Figure 3-19).

Pour ajouter une couche, il suffit de cliquer sur le bouton avec le symbole + vert situé en regard d'une interface, sur la gauche du tableau (Figure 3-19). La nouvelle couche vient alors s'insérer sous l'interface concernée.

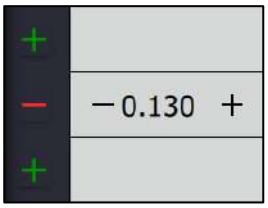


Figure 3-19 : ajout et suppression d'une couche

Pour ajouter une couche de surface, il faut cliquer sur le symbole + vert situé en regard de la ligne de titres du tableau.

❖ Modification d'une interface

Le contact entre deux couches au niveau d'une interface peut être de trois types : collé, semi-collé ou glissant (Figure 3-20).

Par défaut, Alizé2® propose un contact collé. Ce paramètre est modifiable en cliquant une ou deux fois dans le tableau sur l'interface concernée pour atteindre le type voulu. Un troisième clic permet de retrouver le type de contact initial.

Le schéma de structure dans le volet latéral à droite (Figure 3-2) matérialise ces différents types de contact par des couleurs distinctes.

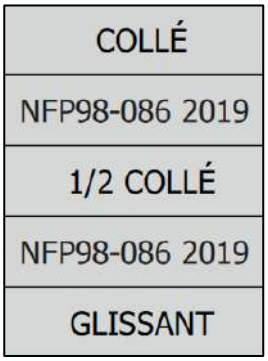


Figure 3-20 : modification d'une interface

Pour plus de détails, se reporter à la norme NF P98-086 2019 [1], sections 3.1.20 à 3.1.23.

Une aide sur la nature des interfaces est également disponible dans Alizé2® (voir section 3.1.4 Guides).

❖ Affectation de couches à l'assise de la structure

La dernière colonne du tableau indique les couches qui définissent l'assise de la chaussée. Cette information peut ensuite être exploitée par Alizé2® pour le calcul des valeurs admissibles dans les couches concernées (voir section 3.2.4 Onglet Valeurs admissibles).

Par défaut, Alizé2® affecte à l'assise toutes les couches intermédiaires situées entre la couche de surface et le sol, ainsi que les interfaces qui les séparent (Figure 3-21).

Pour définir une nouvelle assise, l'utilisateur doit cliquer dans la case de la colonne *Assise* correspondant à la couche supérieure, puis dans celle correspondant à la couche inférieure de l'assise. L'ensemble de l'assise est alors représenté en bleu. Il peut aussi le faire dans l'autre sens (d'abord la couche inférieure, puis la couche supérieure).

Une fois l'assise définie, l'utilisateur peut :

- définir une nouvelle couche supérieure en cliquant dans la case d'une couche située au-dessus du milieu de l'assise précédemment définie,
- définir une nouvelle couche inférieure en cliquant dans la case d'une couche située au-dessous du milieu de l'assise précédemment définie,
- ne conserver dans l'assise que la couche du milieu, lorsque le nombre de couches est impair, en cliquant dans la case correspondant à cette dernière,
- ne conserver dans l'assise que la couche inférieure ou supérieure en cliquant dans la case correspondant à cette dernière,
- supprimer l'unique couche de l'assise, le cas échéant, en cliquant dans la case correspondant à cette dernière.

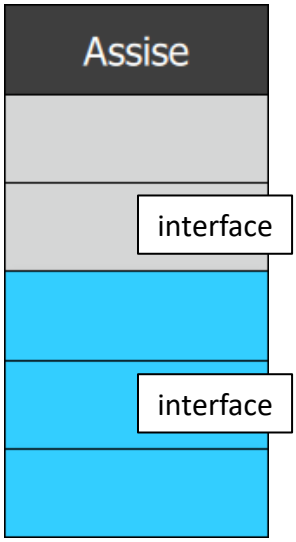


Figure 3-21 : affectation des couches à l'assise

La plateforme ne fait pas partie de l'assise.

➢ Menu vertical Structure

Le menu vertical à gauche de l'écran permet de :

- demander une **nouvelle structure**. Alizé2® supprime alors la structure en cours pour la remplacer par la structure par défaut (structure à quatre couches, proposée lors de la création d'un nouveau projet) ;
- **charger une structure** dont les caractéristiques ont déjà été enregistrées dans un fichier ;
- **sauvegarder** les caractéristiques de la structure en cours, au format Alizé2® et/ou Alizé 1.5 ;
- enregistrer les différentes manipulations réalisées sur la structure dans un fichier texte par la fonction **Inclure dans l'historique** (voir section 3.1.5 Inclusion dans l'historique) ;
- accéder à la **bibliothèque des structures** (voir section 3.1.3 Bibliothèques des structures et des matériaux) ;
- accéder à la **bibliothèque de matériaux** (voir section 3.1.3 Bibliothèques des structures et des matériaux) ;
- accéder au **guide des interfaces** (voir section 3.1.4 Guides).

3.2.2 Onglet Charge

Le deuxième onglet permet de définir la charge s'appliquant à la structure à dimensionner (Figure 3-22).

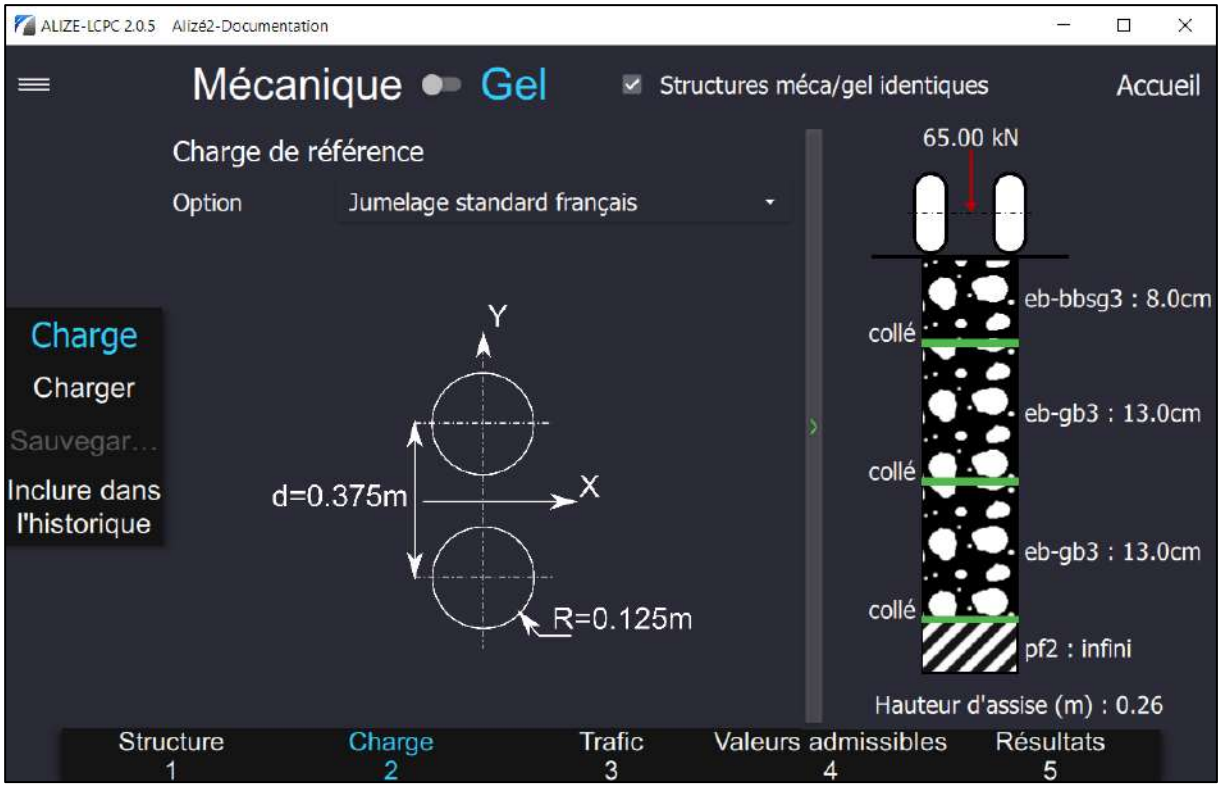


Figure 3-22 : vue globale de l'onglet Charge

➢ Options

Trois options de charges sont proposées :

- si l'utilisateur conserve le **jumelage standard français** (affiché par défaut et recommandé par la norme 2019 [1]), il n'a rien de plus à paramétrer et peut directement passer à l'onglet suivant.
- s'il choisit l'option **Autre jumelage**, il est alors invité à fournir (Figure 3-23) les valeurs de deux paramètres parmi les trois suivants :
  - le rayon ;
  - la pression ;
  - le poids par roue.

  Une relation entre ces trois paramètres permet le calcul automatique de la valeur de l'un d'eux à partir de la saisie des deux autres.

  Il doit alors cocher les deux cases correspondant à ses choix avant de saisir les valeurs correspondantes.

  Il doit enfin renseigner l'entraxe du jumelage.

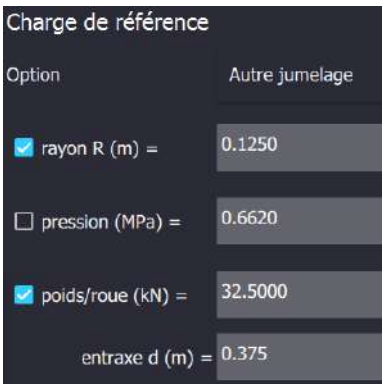


Figure 3-23 : renseignement des paramètres dans le cas « Autre jumelage »

- s'il choisit l'option **Roue isolée**, les éléments à fournir sont les mêmes que ci-dessus, l'entraxe en moins.

Pour chaque option, un schéma de la configuration de la charge est représenté (Figure 3-24), sur lequel :

- X représente le sens de déplacement de la charge ;
- Y l'axe transversal ;
- R le rayon de l'empreinte de la roue sur la chaussée ;
- d l'entraxe des roues dans le cas d'un jumelage.

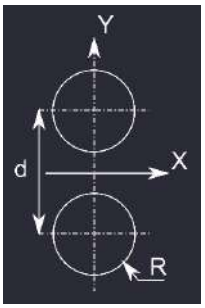


Figure 3-24 : schéma d'un jumelage

➢ Menu vertical *Charge*

Le menu vertical à gauche de l'écran permet de :

- faire le choix, via l'option **Charger**, d'une autre configuration de charge déjà enregistrée dans un fichier ;
- **Sauvegarder** la configuration de la charge en cours, au format .txt ;
- enregistrer les différentes manipulations réalisées sur la charge dans un fichier texte par la fonction **Inclure dans l'historique** (voir section 3.1.5 Inclusion dans l'historique) ;

Le schéma de la carotte de la structure s'actualise automatiquement en cas de modification de la valeur de la charge à la roue.

3.2.3 Onglet Trafic

Le troisième onglet est consacré à la définition du trafic PL (poids lourds) prévu auquel la structure à dimensionner sera soumise (Figure 3-25).

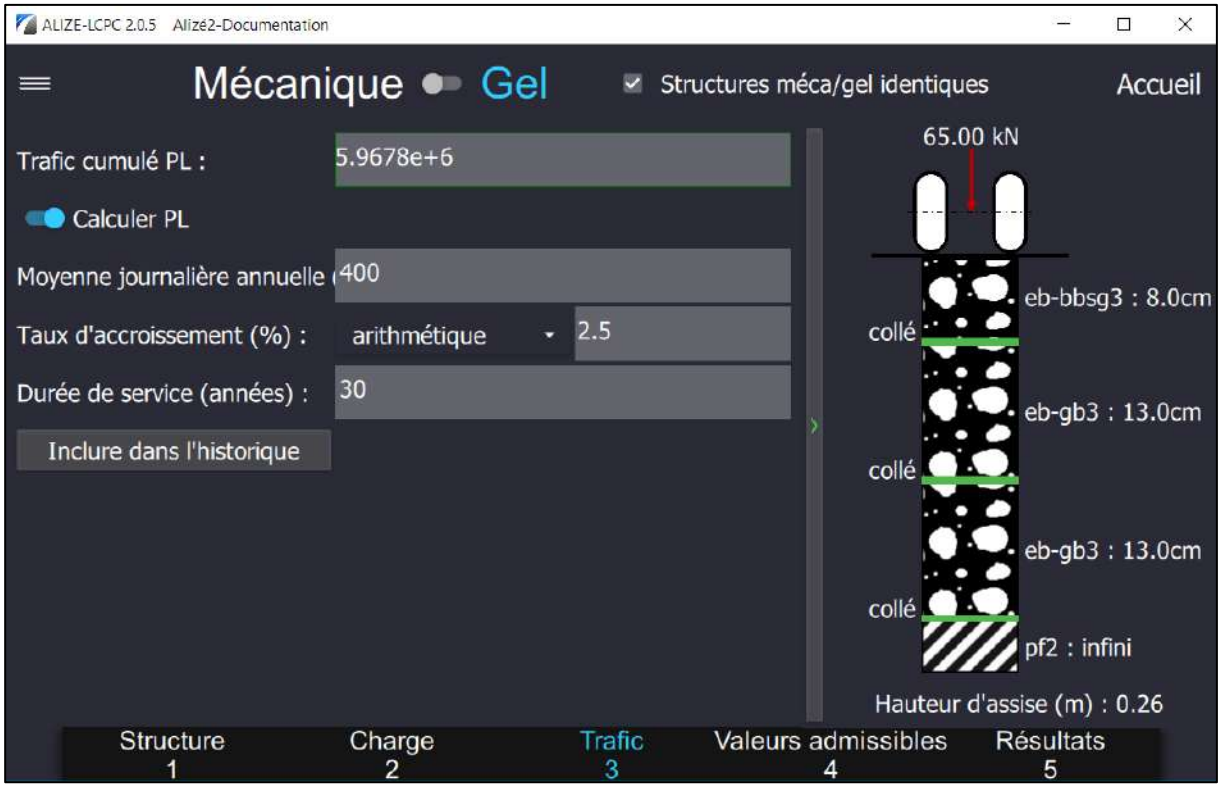


Figure 3-25 : vue globale de l'onglet Trafic

Pour ce faire, l'utilisateur a le choix entre deux méthodes :

- soit il saisit directement le trafic cumulé, la saisie se faisant dans l'unique champ de la fenêtre ;
- soit il le calcule., après avoir basculé le commutateur sur la position **Calculer PL** (Figure 3-26, cadre rouge). L'utilisateur devra alors renseigner :
  - la moyenne journalière annuelle de poids lourds circulant sur cette chaussée ;
  - le taux d'accroissement annuel estimé du trafic, selon une progression à choisir : géométrique ou arithmétique ;
  - la durée de service en années.

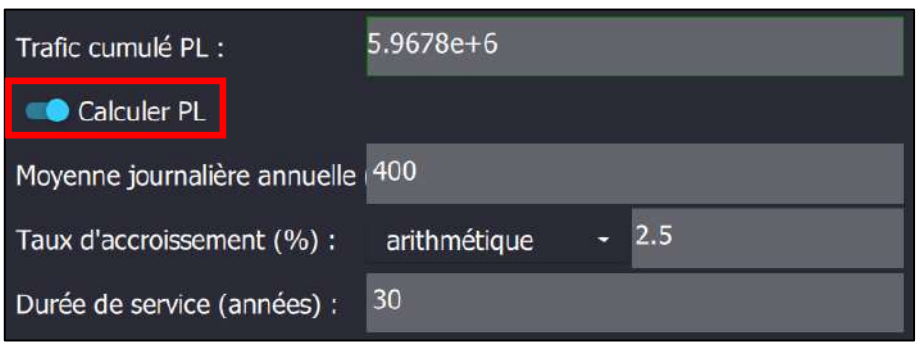


Figure 3-26 : calcul du trafic PL

Lorsque tous les champs sont renseignés, le trafic cumulé PL calculé s'affiche dans le champ du haut, dont la fine bordure initialement rouge est devenue verte.

Enfin, l'utilisateur peut inclure dans l'historique les caractéristiques du trafic (voir section 3.1.5 Inclusion dans l'historique).

3.2.4 Onglet Valeurs admissibles

Le quatrième onglet permet de calculer les valeurs admissibles pour chaque couche de la structure étudiée (Figure 3-27).

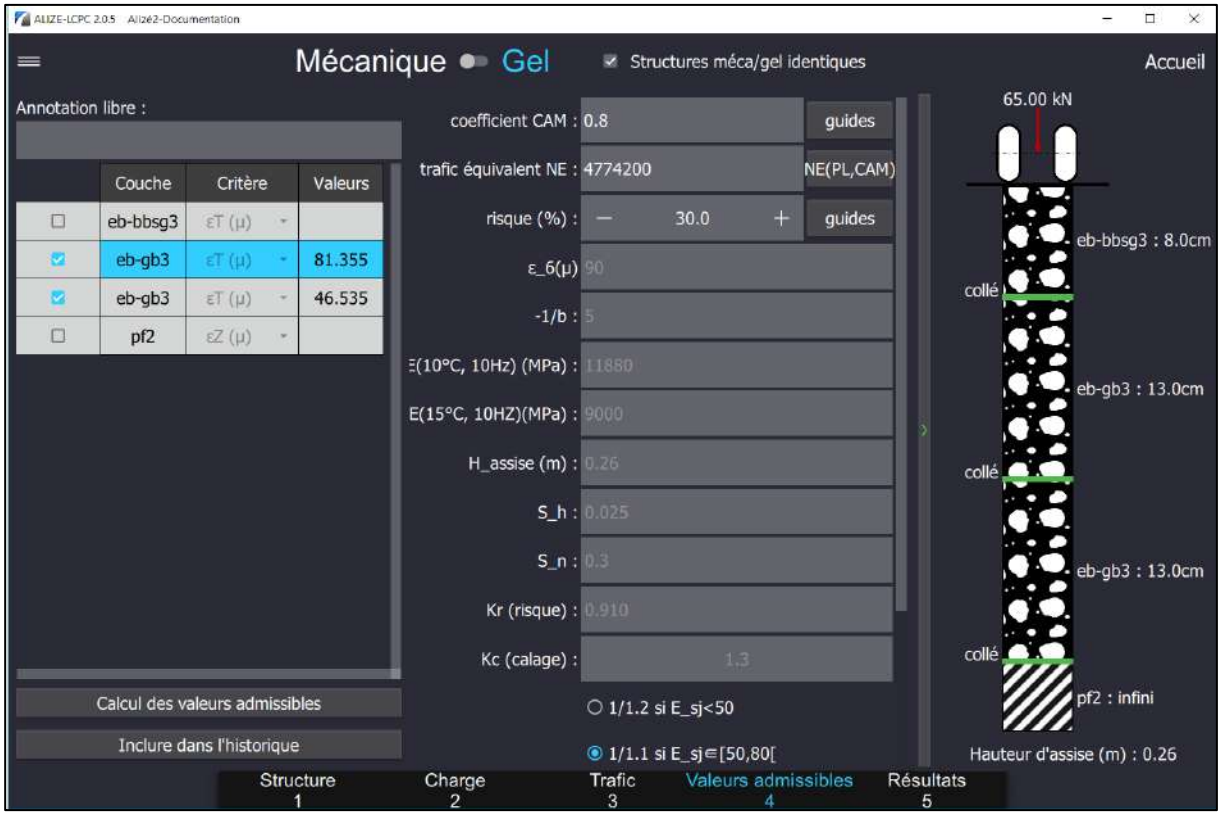


Figure 3-27 : vue globale de l'onglet Valeurs admissibles

En haut à gauche, une zone de commentaire libre peut servir à mémoriser toute information utile, notamment pour expliciter la démarche suivie (Figure 3-28) :

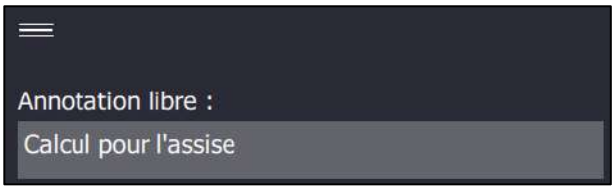


Figure 3-28 : zone de saisie d'une annotation

Le tableau en dessous reprend les différentes couches de la structure et les critères servant au calcul des valeurs admissibles pour chacune d'elles (Figure 3-29) :

Figure 3-29 : tableau de sélection des couches à soumettre à un calcul de valeurs admissibles

Les cases à cocher permettent la sélection des couches pour lesquelles un calcul sera sollicité tandis que la colonne *Valeurs* en affichera le résultat. Les critères sont non modifiables pour les matériaux issus d'une bibliothèque officielle fournie par le logiciel.

Le calcul de la valeur admissible pour une couche donnée nécessite :

- de la sélectionner dans le tableau en cochant la case correspondante ;
- de renseigner les paramètres qui lui sont propres dans la partie droite de l'écran (Figure 3-30).

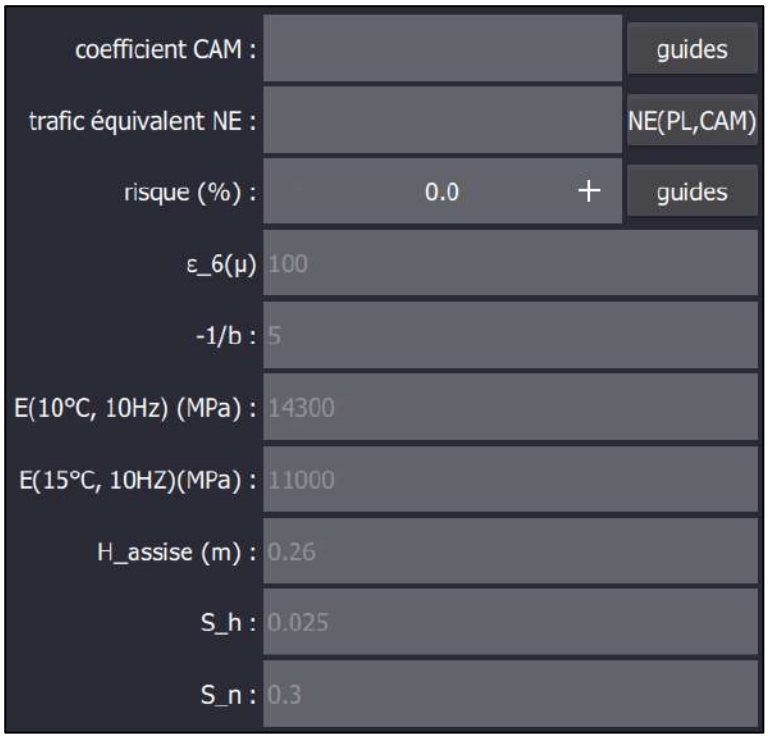


Figure 3-30 : tableau des paramètres de calcul des VA

Quel que soit le critère, l'utilisateur est ainsi amené à fournir :

- le CAM : en cliquant sur le bouton *guides* en regard du champ, une fenêtre s'ouvre et guide l'utilisateur pour le calcul du coefficient (voir section 3.1.4 Guides). La valeur calculée s'affiche ensuite dans le champ correspondant de la Figure 3-30;

- le trafic équivalent NE : en cliquant sur le bouton associé *NE (PL, CAM)*, sa valeur est calculée automatiquement en fonction du trafic poids lourds indiqué dans l'onglet *Trafic* et du CAM ;

Puis, il faut définir les différents paramètres des couches sélectionnées en fonction du critère.

➢ Préparation du calcul dans le cas du critère ε_T

L'utilisateur est amené à fournir le risque (%) : en cliquant sur le bouton *guides* en regard du champ, une fenêtre s'ouvre et guide l'utilisateur pour le calcul du risque (voir section 3.1.4 Guides). La valeur calculée s'affiche ensuite dans le champ correspondant de la Figure 3-30 ;

Pour le CAM, le trafic équivalent et le risque, il est possible de saisir directement la valeur sans cliquer sur les boutons correspondants pour leur calcul.

Le paramètre *H_assise* représente la hauteur cumulée des couches de matériaux bitumineux, hors couche de roulement, constituant l'assise de la chaussée. Ce paramètre sert à calculer la valeur du paramètre *S_h*.

La valeur de H_assise est automatiquement calculée à partir de la structure définie. Cette valeur est utilisée pour le calcul de *S_h* lorsque l'option *Calcul automatique de S_h* est activée (c'est le cas par défaut). Sinon, l'utilisateur peut choisir la hauteur d'assise à prendre en compte dans la définition de *S_h*.

Lors d'une modification d'épaisseur de l'assise, et si l'option *Calcul automatique de S_h* est activée, les valeurs admissibles sont recalculées automatiquement par le logiciel. Cela permet d'éviter toute erreur, notamment lorsque les épaisseurs sont modifiées dans la partie *Résultats*.

Les valeurs des paramètres suivants sont déterminées par Alizé2® et non modifiables si le matériau est issu d'une bibliothèque officielle fournie par le logiciel. Sinon, l'utilisateur saisira leur valeur.

- *ε_6* 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* où b est la pente de la loi de fatigue du matériau bitumineux *;*
- les deux modules d'Young, à 10°C et à la température de la couche ;
- *S_n* l'écart type sur le logarithme décimal du nombre de cycles entraînant la rupture par fatigue ;
- *Kc* le coefficient de calage.

Le coefficient de risque *Kr* sera calculé et affiché en même temps que les valeurs admissibles.

L'utilisateur doit enfin renseigner le coefficient de plate-forme *Ks* (Figure 3-31) :

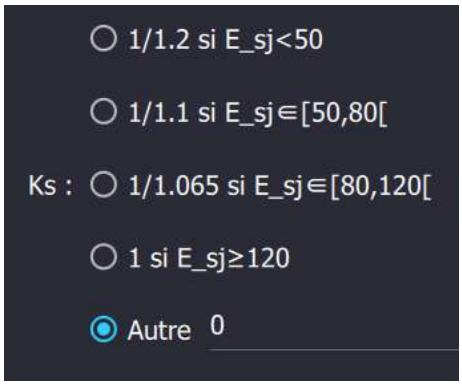


Figure 3-31 : détermination du coefficient Ks

Celui-ci est prédéterminé en fonction du module de rigidité *E_sj* de la couche immédiatement sous-jacente (ou de la plate-forme). Cependant, l'utilisateur peut saisir une autre valeur comprise entre 0 et 1.

Par ailleurs, une case à cocher (Figure 3-32) permet de prendre en compte l'aptitude à respecter la consigne d'épaisseur prescrite lors de la mise en œuvre et ainsi de limiter la dispersion *S_h* :

Figure 3-32 : prise en compte de la consigne d'épaisseur

Pour plus de détails sur les différents paramètres, se reporter à la norme française NF P98-086 2019 [1] ou au guide technique [3].

- Préparation du calcul dans le cas du critère σ_T

De la même manière que dans le cas du critère ε_T, l'utilisateur doit saisir les valeurs des différents paramètres, et en particulier définir les champs suivants :

- *σ_6* 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 ;
- *1/Kd* où *Kd* est le coefficient de discontinuité pour les matériaux traités aux liants hydrauliques.

Le paramètre *ε_6* et les modules d'Young à différentes températures ne concernent pas ces matériaux.

- Préparation du calcul dans le cas du critère ε_Z

Pour une couche de type GNT ou pour la plateforme, le CAM et le trafic équivalent NE se calculent de la même façon que précédemment.

Concernant les paramètres A et b, leur valeur est calculée automatiquement par Alizé2® selon les critères de la norme NF P98-086 2019 [1] définis aux sections 8.1 et 8.7. La valeur de A dépend du trafic équivalent NE et b est une constante valant -0,222.

- Calcul des valeurs admissibles

Dès que les paramètres ci-dessus sont renseignés pour une couche donnée, le calcul de sa valeur admissible devient possible. S'ils sont renseignés pour toutes les couches, le calcul des valeurs admissibles appliqué à la structure définie peut s'effectuer en un clic pour une ou plusieurs couches.

Il suffit alors de cocher les cases correspondant aux couches visées et situées devant le tableau (Figure 3-29), puis de cliquer en bas sur le bouton *Calcul des valeurs admissibles*. Les valeurs s'affichent en dernière colonne du tableau pour les couches sélectionnées.

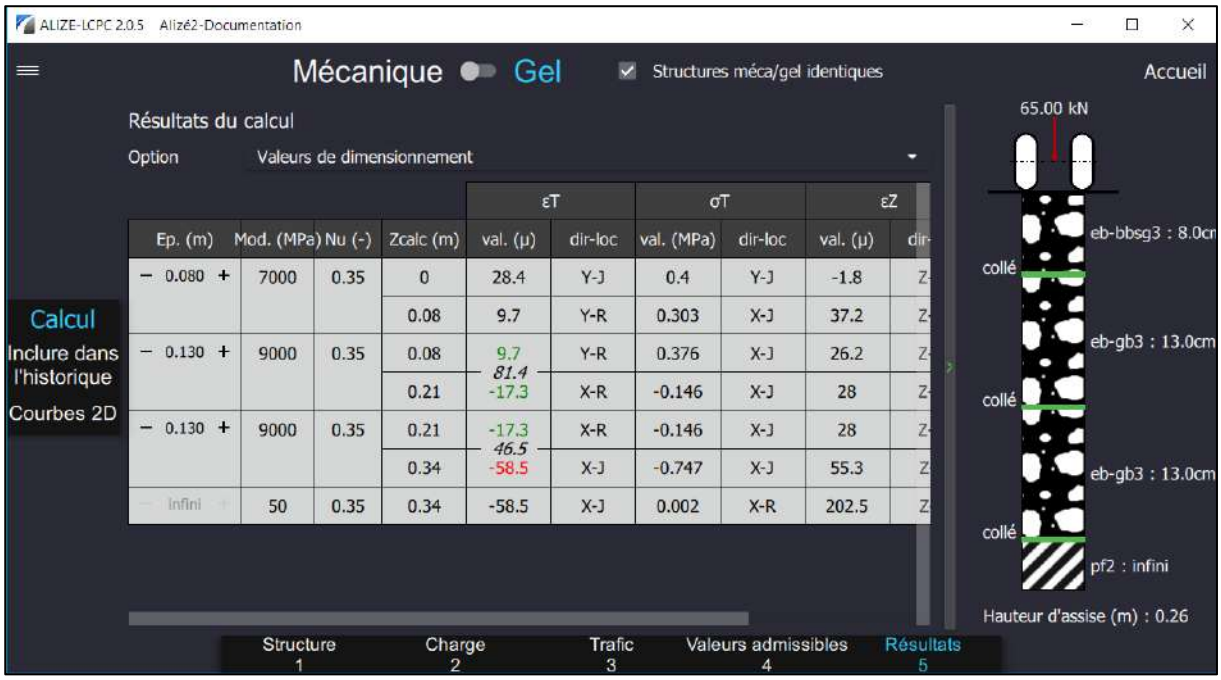
Ici encore, l'utilisateur peut inclure dans l'historique les caractéristiques des différentes couches et les valeurs admissibles calculées (voir section 3.1.5 Inclusion dans l'historique).

L'utilisateur peut lancer le calcul après avoir renseigné les paramètres de chacune des couches. Il n'est pas nécessaire de lancer un calcul pour chaque couche.

Le sous-module *Calcul de valeurs admissibles* permet également d'effectuer un calcul sans avoir défini de structure au préalable).

3.2.5 Onglet Résultats

Les onglets précédents renseignés, Alizé2® propose un ultime onglet récapitulant les résultats disponibles (Figure 3-33) :



Ep. (m)	Mod. (MPa)	Nu (-)	Zcalc (m)	εT val. (µ)	εT dir-loc	σT val. (MPa)	σT dir-loc	εZ val. (µ)	εZ dir-
− 0.080 +	7000	0.35	0	28.4	Y-J	0.4	Y-J	-1.8	Z-
			0.08	9.7	Y-R	0.303	X-J	37.2	Z-
− 0.130 +	9000	0.35	0.08	9.7	Y-R	0.376	X-J	26.2	Z-
				81.4					
			0.21	-17.3	X-R	-0.146	X-J	28	Z-
− 0.130 +	9000	0.35	0.21	-17.3	X-R	-0.146	X-J	28	Z-
				46.5					
			0.34	-58.5	X-J	-0.747	X-J	55.3	Z-
− infini +	50	0.35	0.34	-58.5	X-J	0.002	X-R	202.5	Z-

Figure 3-33 : vue globale de l'onglet Résultats

Les résultats se présentent sous forme de tableaux recensant les valeurs de dimensionnement, des contraintes ou des déformations selon le choix effectué par l'utilisateur parmi les trois options de la liste déroulante (Figure 3-34) :

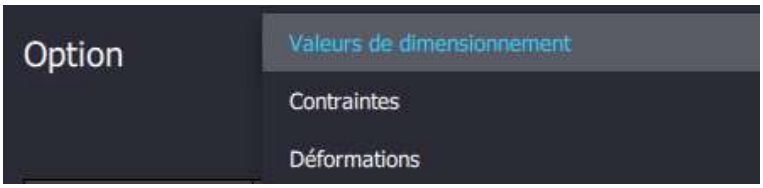


Figure 3-34 : choix de l'option de présentation des résultats

Un outil graphique disponible dans le menu vertical de gauche présente également les résultats sous forme de courbes 2D superposables.

➢ Tableaux de résultats

❖ Tableau des valeurs de dimensionnement

Les 3 premières colonnes du tableau rappellent l'épaisseur, le module d'Young et le coefficient de Poisson de chacune des couches. Pour les colonnes suivantes, chaque ligne correspondant à une couche se subdivise en deux, la partie haute donnant les valeurs calculées à la limite supérieure de la couche, et la partie basse les valeurs calculées à sa limite inférieure.

La colonne *Zcalc (m)* indique la profondeur depuis la surface de la chaussée.

Les deux colonnes suivantes *εT* et *σT* présentent les valeurs minimales des déformations ε et contraintes σ dans le sens transversal T.

Enfin, les deux dernières colonnes *εZ* et *σZ* présentent les valeurs maximales des déformations ε et contraintes σ dans le sens vertical Z.

Dans le sens transversal T, une valeur négative correspond à une extension, et dans la direction verticale Z, une valeur positive représente une compression.

Chaque résultat (εT, σT, εZ, σZ) est exprimé sur deux colonnes (Figure 3-35), la première, intitulée *val.*, indiquant la valeur de la grandeur calculée et la seconde, *dir-loc*, la direction et la localisation de cet extremum (minimum selon T, maximum selon Z).

La direction est exprimée suivant les axes X, Y et Z, et la position verticale est exprimée par rapport à l'application de la charge, à savoir R pour un calcul sous le centre de la roue, et J pour un calcul sous le milieu du jumelage.

La valeur admissible calculée précédemment pour chacune des couches sélectionnées est reportée en noir italique, entre les valeurs des résultats en haut et en bas de la couche, dans la colonne correspondant au critère de dimensionnement.

Si les valeurs du dimensionnement restent inférieures en valeur absolue aux valeurs admissibles, elles s'affichent en vert ; dans le cas inverse, elles s'affichent en rouge.

εT	
val. (µ)	dir-loc
28.4	Y-J
9.7	Y-R
9.7	Y-R
81.4	
-17.3	X-R
-17.3	X-R
46.5	
-58.5	X-J

Figure 3-35 : valeurs minimales de déformation εT, valeurs admissibles, direction et localisation du calcul pour les 3 couches supérieures

Toute valeur calculée s'affichant en rouge conduit à l'invalidité du dimensionnement réalisé. Il est alors nécessaire de modifier la structure pour qu'elle puisse résister à la charge prévue.

En restant sur l'onglet *Résultats*, l'utilisateur peut modifier les épaisseurs d'une ou plusieurs couches dans le tableau, à l'aide des boutons + et –.

Lors des modifications d'épaisseurs dans l'onglet *Résultats*, les valeurs admissibles sont recalculées automatiquement.

❖ Tableaux des contraintes

Lorsque l'utilisateur choisit l'option *Contraintes* (Figure 3-34), un nouveau champ intitulé *Profil* apparaît juste en-dessous (Figure 3-36) :

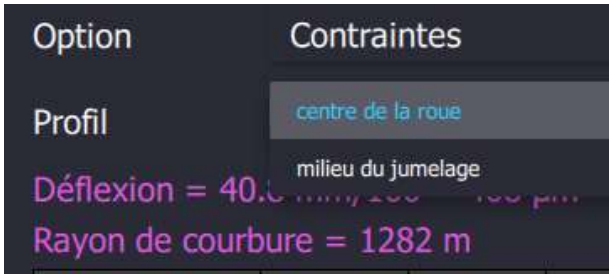


Figure 3-36 : choix du profil pour le calcul des valeurs de contraintes

Selon le profil choisi, les valeurs apparaissant dans le tableau correspondent alors au résultat d'un calcul sous le centre de la roue ou sous le milieu du jumelage (si un jumelage a été choisi dans l'onglet *Charge*). Les valeurs de la déflexion et du rayon de courbure, indiquées en couleur au-dessus du tableau s'actualisent également automatiquement en fonction du profil choisi.

Les 6 dernières colonnes du tableau affiché présentent les valeurs du tenseur des contraintes σ, en haut et bas de couche, comme pour les valeurs de dimensionnement.

Les valeurs selon les axes X, Y et Z correspondent aux contraintes de traction et de compression, alors que les valeurs dans les plans XY, YZ et ZX correspondent aux contraintes de cisaillement.

❖ Tableaux des déformations

Le tableau des déformations se présente de façon rigoureusement similaire à celui des contraintes.

➢ Courbes 2D

Les résultats peuvent aussi s'observer graphiquement dans une fenêtre distincte, en cliquant sur le menu *Courbes 2D* dans le menu vertical.

À gauche, dans un volet rétractable et redimensionnable, figurent les courbes disponibles, tandis qu'à droite, la partie graphique affiche les valeurs des résultats (axe horizontal) en fonction de la profondeur (axe vertical) (Figure 3-37) :

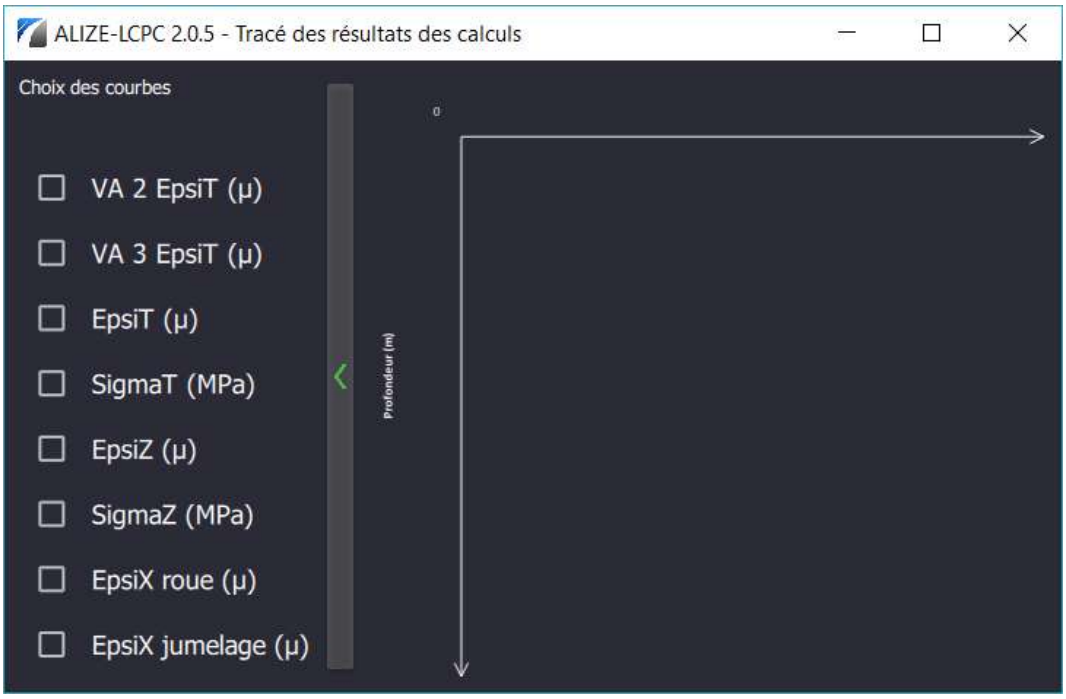


Figure 3-37 : fenêtre initiale d'affichage des courbes 2D

❖ Courbes disponibles

Les données disponibles dans la liste du panneau de gauche sont présentées dans l'ordre suivant :

- les valeurs admissibles calculées ;
- les 4 valeurs de dimensionnement *EpsiT*, *SigmaT*, *EpsiZ*, *SigmaZ* ;
- les déformations dans le repère xyz sous le centre de la roue (et sous le milieu du jumelage, dans le cas où un jumelage a été choisi) ;
- les contraintes dans le repère xyz sous le centre de la roue (et sous le milieu du jumelage, dans le cas où un jumelage a été choisi).

Une valeur admissible donnée se repère par son intitulé *VA* suivi du numéro de la couche pour laquelle elle a été calculée à l'étape précédente et du critère de calcul retenu. Ainsi, *VA2 EpsiT* correspond à la courbe représentant la valeur admissible calculée pour la couche n°2 selon le critère de déformation εT.

Les valeurs admissibles étant des constantes par définition, leurs courbes correspondantes sont représentées par des segments verticaux sur la hauteur de la couche concernée.

Seules les valeurs admissibles calculées précédemment dans l'onglet dédié apparaissent dans la liste des courbes disponibles.

Dans le cas d'une charge composée d'une roue isolée, Alizé2® fournit :

- six résultats de calcul pour les déformations : EpsiX roue, EpsiY roue, EpsiZ roue, EpsiXY roue, EpsiYZ roue, EpsiZX roue ;
- six résultats pour les contraintes : SigmaX roue, SigmaY roue, SigmaZ roue, SigmaXY roue, SigmaYZ roue, SigmaZX roue.

Au total, douze courbes sont alors disponibles.

Dans le cas d'un jumelage, Alizé2® ajoute à ces résultats de calcul les résultats obtenus au milieu du jumelage. Au total, vingt-quatre courbes sont alors disponibles.

En cochant les cases à gauche, l'utilisateur décide alors des courbes à afficher pour la structure courante, parmi les valeurs admissibles disponibles, et les résultats des calculs en déformation ou en contrainte (Figure 3-38) :

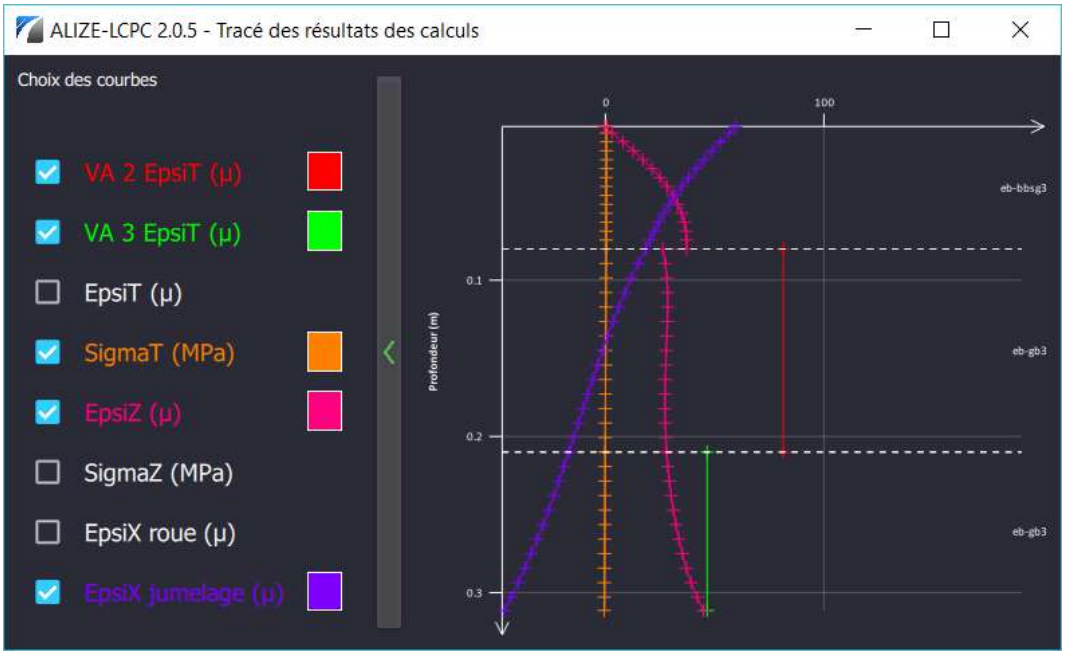


Figure 3-38 : affichage des courbes de résultats et des valeurs admissibles

❖ Ergonomie

Dès la première courbe affichée sur le graphique, des lignes horizontales en pointillés blancs viennent matérialiser la séparation des différentes couches, dans le respect de leur épaisseur ; le nom du matériau correspondant est affiché sur la droite.

Au fur et à mesure que des courbes sont sélectionnées, l'échelle du graphique s'ajuste instantanément pour permettre un affichage intégral de l'ensemble des courbes.

Plusieurs manières permettent à l'utilisateur de mieux visualiser les courbes :

- en passant la fenêtre en plein écran, les polices s'agrandissent 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.

Chaque courbe cochée se voit attribuer une couleur selon un ordre donné : rouge, vert, bleu, orange, rose, etc. 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 3-39) :

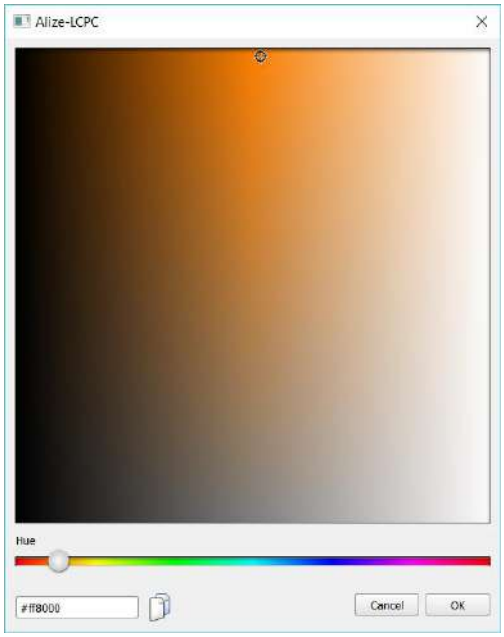


Figure 3-39 : modification de la couleur d'une courbe

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, il 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 qui permet de définir 256 niveaux par composante. Ce code peut être copié et collé d'une courbe à l'autre.

- Rapport mécanique

Le menu Projet de l'onglet *Résultats* comporte une nouvelle option *Rapport mécanique* (Figure 3-40), permettant de générer un document de synthèse.

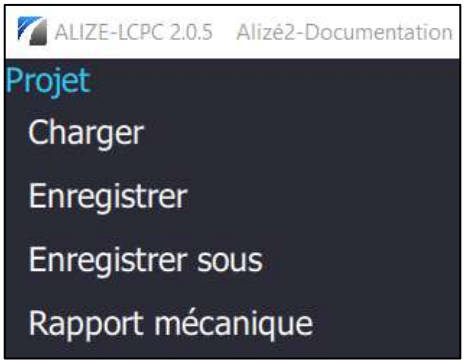


Figure 3-40 : accès au rapport mécanique via le menu Projet

Une fenêtre permet de personnaliser ce rapport (Figure 3-41), en proposant à l'utilisateur de choisir les options et les résultats qu'il souhaite y intégrer.

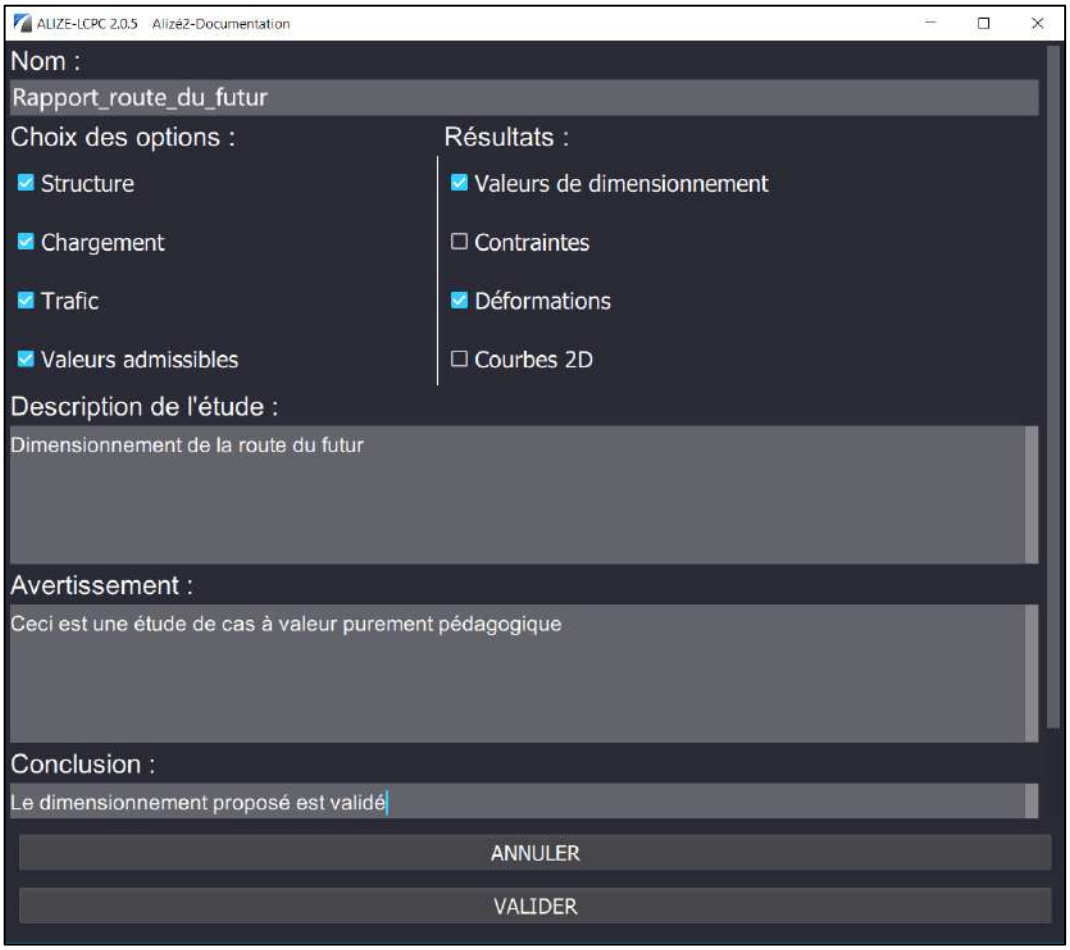


Figure 3-41 : paramétrage du rapport mécanique

Il peut ainsi choisir d'intégrer les principales caractéristiques du dimensionnement issues des onglets *Structure*, *Charge*, *Trafic* et *Valeurs admissibles*, puis les différents résultats obtenus : valeurs de dimensionnement, contraintes, déformations et courbes 2D.

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 *calculationNote_date_heure* ;
- une description de l'étude ;
- un avertissement ou une observation concernant l'étude ;
- une conclusion.

En cliquant sur *Valider*, le rapport au format pdf est généré et enregistré automatiquement dans le même dossier que le projet.

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.

- Si l'utilisateur a coché *Structure*, les données issues de l'onglet *Structure* et intégrées dans le rapport (Figure 3-42) sont :
  - la liste des couches et leur épaisseur ;
  - le module d'Young ;
  - le coefficient de Poisson ;
  - la bibliothèque et le matériau utilisés dans chaque couche ;
  - les température et fréquence ;

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

1 Structure

Epaisseur (m)	Module (MPa)	Nu (-)	Bibliothèque	Matériau	Temp. (°C)	Fréq. (Hz)
0.08	7000	0.35	NFP98-086 2019	eb-bbsg3	15	10
Collé						
0.13	9000	0.35	NFP98-086 2019	eb-gb3	15	10
Collé						
0.13	9000	0.35	NFP98-086 2019	eb-gb3	15	10
Collé						
Inf.	50	0.35	NFP98-086 2019	pf2	15	10

Figure 3-42 : exemple de partie du rapport mécanique liée à l'onglet Structure

- Si l'utilisateur a coché *Chargement*, les données issues de l'onglet *Charge* et intégrées dans le rapport (Figure 3-43) sont :
  - le type de charge : roue isolée, jumelage standard français ou autre jumelage ;
  - le rayon ;
  - la pression ;
  - le poids/roue ;
  - et dans le cas d'un jumelage (standard français ou autre), l'entraxe.

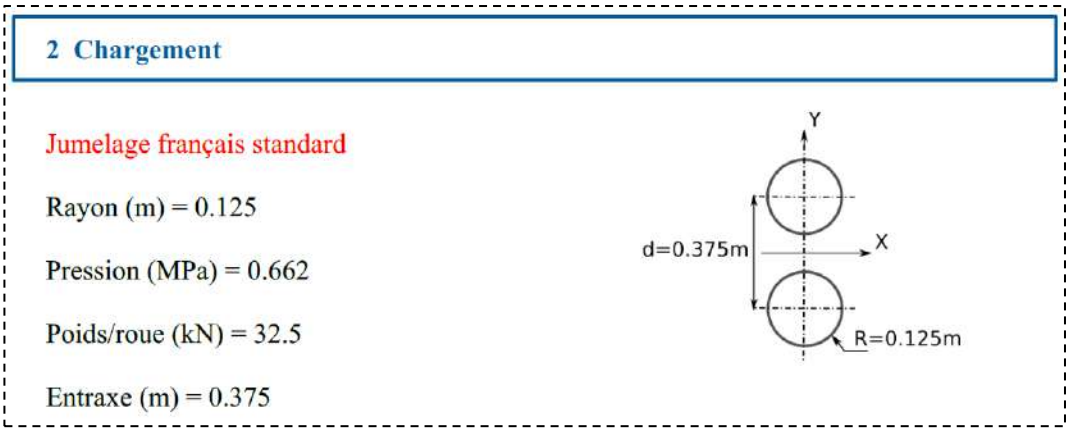


Figure 3-43 : exemple de partie du rapport mécanique liée à l'onglet Charge

- Si l'utilisateur a coché *Trafic*, les données issues de l'onglet *Trafic* et intégrées dans le rapport (Figure 3-44) sont :
  - le trafic cumulé PL ;

  et dans le cas où ce trafic cumulé PL a été calculé :
  - la moyenne journalière annuelle ;
  - le type de taux d'accroissement (arithmétique ou géométrique) et sa valeur ;
  - la durée de service.

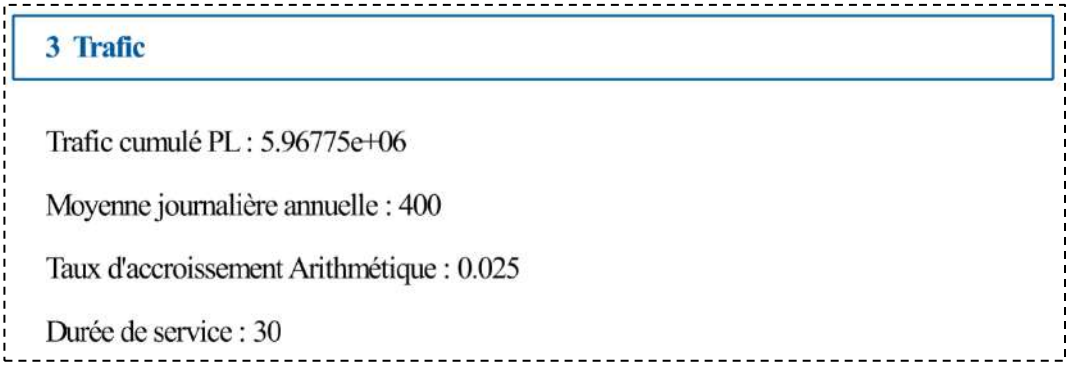


Figure 3-44 : exemple de partie du rapport mécanique liée à l'onglet Trafic

- Si l'utilisateur a coché *Valeurs admissibles*, les données issues de l'onglet *Valeurs admissibles* et intégrées dans le rapport (Figure 3-45) sont :
  - le tableau récapitulatif des valeurs admissibles calculées, avec le critère associé ;
  - l'ensemble des valeurs ayant servi au calcul pour chaque couche.

4 Valeurs admissibles

N° Couche	Matériau	Critère	Valeur calculée
2	eb-gb3	εT	81.355
3	eb-gb3	εT	46.535

Couche 2

CAM: 0.80	NE: 4774200	Risque: 0.30
ε_6: 90.000	-1/b: 5.000	E(T,f)(MPa): 11880
E(Eq,f)(MPa): 9000	S_h: 0.025	S_n: 0.300
Kr: 0.910	Kc: 1.300	Ks: 0.909

Figure 3-45 : exemple de partie du rapport mécanique liée à l'onglet Valeurs admissibles

- Si l'utilisateur a coché les cases *Valeurs de dimensionnement*, *Contraintes* et *Déformations*, les données présentées sont respectivement celles du tableau des valeurs de dimensionnement, du tableau des contraintes et du tableau des déformations, toutes issues de l'onglet *Résultats*.

- Si l'utilisateur a coché *Courbes 2D*, le rapport affiche les courbes disponibles parmi celles relatives aux quatre valeurs de dimensionnement *EpsiT*, *SigmaT*, *EpsiZ*, *SigmaZ* (Figure 3-46).

Les éventuelles courbes affichées avec la fonctionnalité *Courbes 2D* ne sont pas intégrées au rapport mécanique.

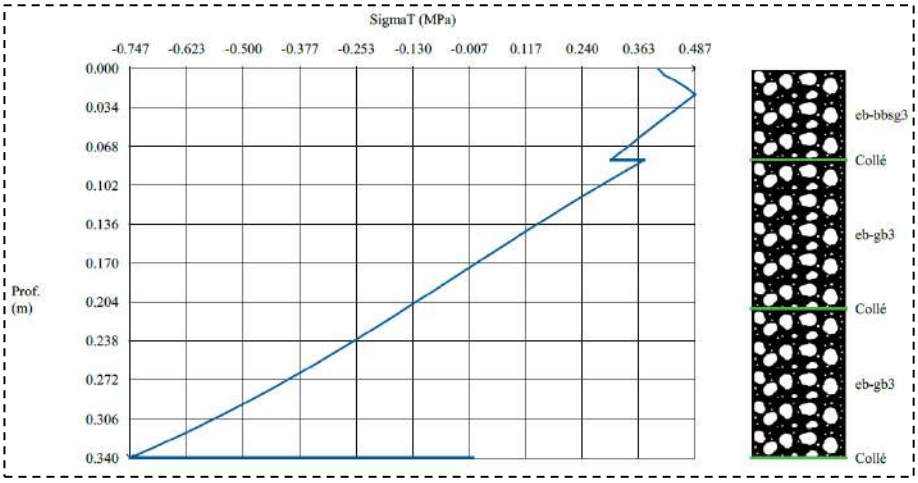


Figure 3-46 : exemple de courbe 2D du rapport mécanique

4 Vérification au gel

La partie *Vérification au gel* d'Alizé2® n'est pas un module à part entière, mais plutôt une partie intégrée :

- au module Dimensionnement routier, dans les sous-modules *Standard* (voir 3.2 Dimensionnement mécanique Standard) et *Expert* ;
- au module aéronautique.

La fonction de vérification au gel permet de s'assurer, dans le respect de la norme NF P98-086 (2019), que la structure dimensionnée sera à même de résister aux cycles de gel-dégel.

4.1 Vérification d'une chaussée routière

4.1.1 Généralités

À partir d'une structure routière correctement dimensionnée, la vérification au gel peut débuter après basculement du commutateur en haut d'écran (Figure 4-1) :

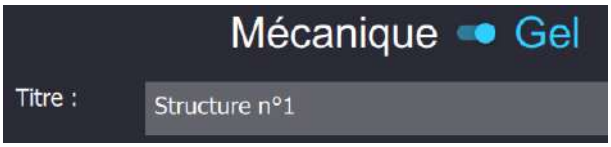


Figure 4-1 : commutateur Mécanique-Gel et titre de la structure

Une vérification au gel peut être faite indépendamment d'un dimensionnement mécanique préalable.

➢ Titre de la structure

Le titre attribué à la structure dans la partie mécanique se retrouve dans la partie *Vérification au gel* (Figure 4-1).

➢ Étapes

Comme pour le dimensionnement mécanique, la fenêtre comporte en bas d'écran, sous forme d'onglets, les étapes de calcul à parcourir successivement (Figure 4-2) :

Figure 4-2 : barre d'onglets du sous-module Standard – partie vérification au gel

- la définition de la structure ;
- la définition des conditions météorologiques ;
- le calcul de la quantité de gel admissible *Qpf* ;
- et la vérification au gel, avec les courbes de résultats.

➢ Schéma de la structure

Sur la partie droite de l'écran, le schéma de la structure étudiée est affiché dans le volet rabattable, avec ses différentes couches (Figure 4-3).

À la différence de la partie mécanique, les couches sont séparées par des interfaces colorées en gris, quel que soit leur état : collé, semi-collé ou glissant. Le sommet de la plateforme Zpf est lui coloré en bleu.

Chaque couche est illustrée par son type de matériau et son épaisseur, dans un graphisme identique à la partie mécanique.

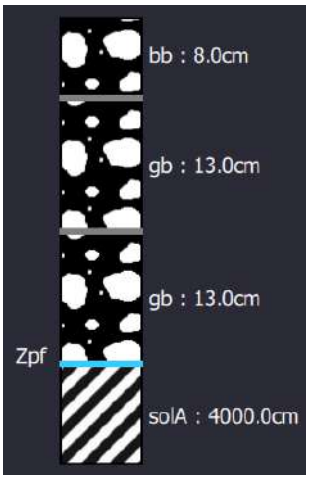


Figure 4-3 : schéma de la structure

➢ Courbes de températures du modèle LCPC-Setra

À gauche du schéma de la structure de chaussée figure un autre volet affichant trois graphes de températures du modèle LCPC-Setra (Figure 4-4) :

- en haut, la courbe des températures initiales en fonction de la profondeur ;
- au milieu, la courbe des températures à la surface de la chaussée (Z = 0 m) en fonction du temps ;
- en bas, la courbe des températures à la base de la chaussée (Z_{base} = Zpf + 40 m) en fonction du temps.

Les valeurs affichées sur le schéma du haut ainsi que la profondeur de la base sur le schéma du bas s'actualisent automatiquement si le sommet de la plateforme Zpf est modifié dans le tableau de la structure.

Tout comme celui du schéma de la structure, ce volet rabattable est toujours disponible et indépendant de l'onglet consulté.

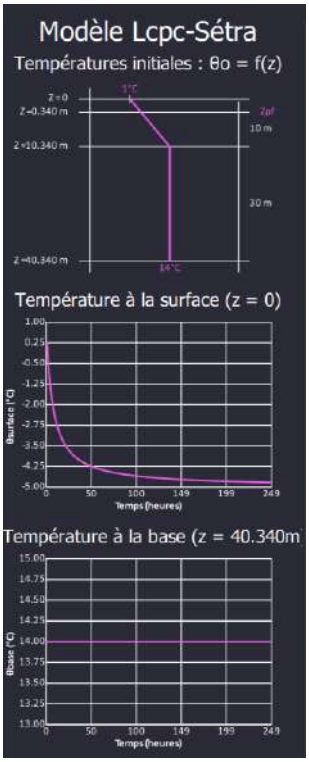


Figure 4-4 : courbes de températures du modèle LCPC-Setra

4.1.2 Onglet Structure

Le premier onglet récapitule les données de la structure étudiée issue de la partie mécanique, en s'adaptant au contexte de la vérification au gel (Figure 4-5) :

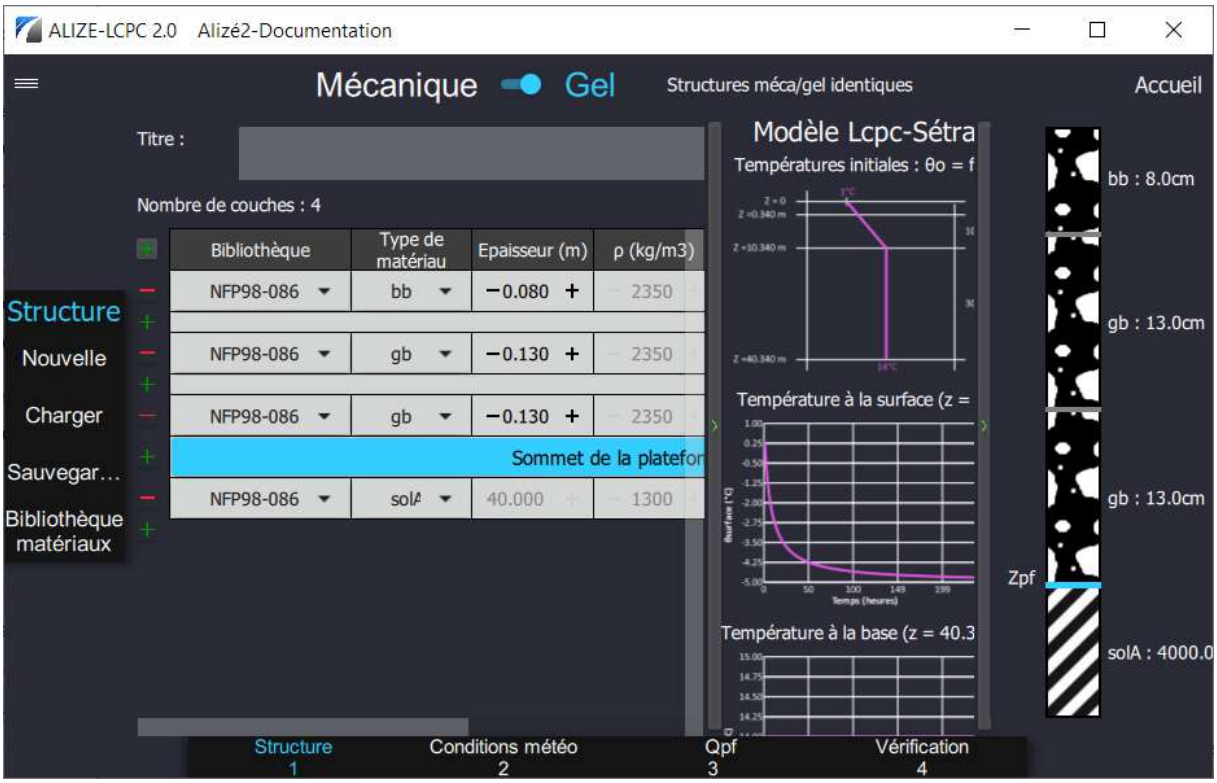


Figure 4-5 : vue globale de l'onglet Structure

➢ Tableau de données

Afin de montrer les caractéristiques thermiques de la structure, le tableau des données (Figure 4-6) affiche pour chaque couche :

- la bibliothèque utilisée ;
- le type de matériau au sein de cette bibliothèque ;
- l'épaisseur de la couche ;
- la masse volumique sèche ρ retenue pour le matériau ;
- la teneur en eau massique W ;
- les facteurs λ de conductivité thermique : *λng* à l'état non gelé et *λg* à l'état gelé.

Bibliothèque	Type de matériau	Epaisseur (m)	ρ (kg/m3)	W (%)	λng (W/m.°C)	λg (W/m.°C)
NFP98-086 20	bb	0.080	2350	1.0	2.0	2.1
NFP98-086 20	gb	0.130	2350	1.0	1.9	1.9
NFP98-086 20	gb	0.130	2350	1.0	1.9	1.9
Sommet de la plateforme Zpf						
NFP98-086 20	solA	40.000	1300	32.0	1.1	1.8

Figure 4-6 : tableau de données de l'onglet Structure

Certaines valeurs sont modifiables et celles qui ne le sont pas sont grisées.

❖ Bibliothèques

Les bibliothèques sont les mêmes que celles utilisées dans la partie mécanique (voir 3.1.3 Bibliothèques des structures et des matériaux).

❖ Types de matériau

La vérification au gel s'appuie sur des caractéristiques mécaniques et thermiques des familles de matériaux constituant la chaussée en cours d'étude, sans nécessiter la connaissance précise du matériau utilisé.

Aussi, après que la structure est enregistrée dans la partie mécanique, le basculement vers la vérification au gel déclenche l'affectation automatique d'un type de matériau à chacune des couches, affiché dans la deuxième colonne du tableau.

Cette affectation se fait selon une règle de correspondance entre les matériaux et leur type, que l'on retrouve dans la bibliothèque des matériaux (voir ci-dessous).

❖ Sommet de la plateforme Zpf

À la différence de la partie Mécanique, le tableau ne renseigne pas l'état des interfaces ; la zone rectangulaire entre les couches permet à l'utilisateur, en cliquant dessus, de définir la position Zpf du sommet de plateforme.

L'épaisseur globale de la plateforme est fixée à 40 m. Par conséquent, l'épaisseur de la couche la plus basse s'ajuste automatiquement en cas de modification du sommet de la plateforme, pour tenir compte des épaisseurs des couches incluses.

Le schéma de la carotte se met à jour automatiquement lors de la modification de Zpf, ainsi que les valeurs portées sur les graphes de température du modèle LCPC-Setra.

❖ Modification des épaisseurs

Le fonctionnement est identique à la partie mécanique (voir 3.2.1 Onglet Structure).

Un changement de valeurs dans la partie Gel se répercute sur la partie Mécanique car les deux structures sont couplées.

❖ Modification des types de matériaux

La modification d'un type de matériaux dans la partie Gel engendre une modification du matériau affiché dans la partie Mécanique. Un type de matériaux dans la partie Gel pouvant regrouper plusieurs matériaux dans la partie Mécanique, c'est le premier matériau de la liste qui est retenu et apparaît dans le tableau de la partie Mécanique. Par exemple, d'après la Figure 4-7, si l'utilisateur change le type de *bb* à *gb*, le matériau affiché en partie Mécanique sera *eb-gb2*.

Réciproquement, si l'utilisateur modifie un matériau dans la partie Mécanique, son type est automatiquement actualisé dans la partie Gel.

Une modification de la structure dans la partie Gel nécessite, lors du basculement dans la partie Mécanique, de visiter un des quatre premiers onglets (*Structure* ou autre) avant d'aller dans l'onglet *Résultats*.

Si l'utilisateur crée un matériau *Autre* dans la partie Mécanique, Alizé2® crée automatiquement un matériau *Autre* dans la partie Gel, qu'il sera alors nécessaire de configurer. La réciproque est également vraie, *Autre* n'ayant pas de propriété mécanique ou thermique déterminée.

Si l'utilisateur bascule de la partie Gel vers la partie Mécanique, y supprime ou ajoute une couche ou y crée une nouvelle structure, puis souhaite effectuer une vérification au gel, il doit alors impérativement vérifier la position de la plateforme au préalable.

❖ Modification du choix de bibliothèque

La modification du choix de bibliothèque côté Mécanique engendre la prise en compte de ce choix côté Gel et génère un changement de matériau selon le fonctionnement indiqué dans l'item précédent *Modification des types de matériaux*.

Le principe est le même dans l'autre sens, de la partie Gel vers la partie Mécanique.

➢ Menu vertical Structure

Comme dans la partie Mécanique, un menu vertical situé à gauche de l'écran propose différentes options :

❖ les options *Nouvelle*, *Charger*, *Sauvegarder* qui figurent également dans la partie Mécanique fonctionnent de la même façon (voir leur description dans la section 3.2.1 Onglet Structure).

❖ l'option *Bibliothèque des matériaux* qui permet de visualiser les propriétés utiles à la vérification au gel des matériaux en fonction de leur type et des divers référentiels techniques (Figure 4-7) :

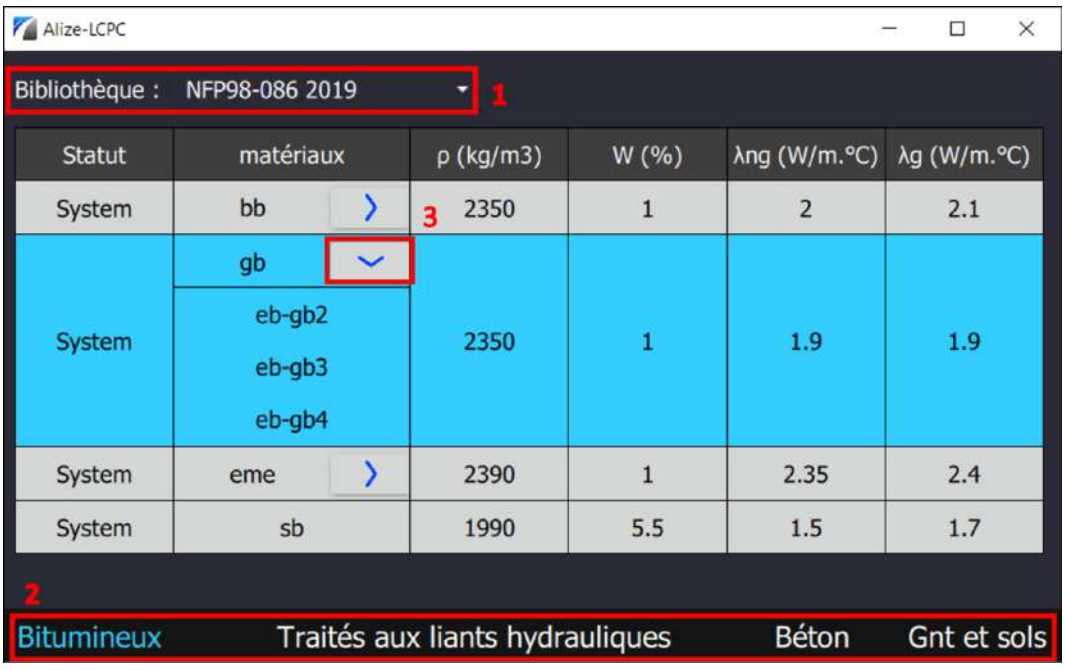


Figure 4-7 : bibliothèque des matériaux – partie vérification au gel

L'utilisateur choisit d'abord le référentiel (cadre rouge n°1), puis la famille de matériaux dans la barre d'onglets du bas (cadre rouge n°2). Le tableau qui apparaît fait figurer en deuxième colonne les différents types de matériaux utilisés dans la partie *Vérification au gel*.

En cliquant sur le chevron bleu à droite du type de matériaux (cadre rouge n°3), le tableau décline alors la liste des noms des matériaux composant ce type. Dans l'illustration ci-dessus (Figure 4-7), le type sélectionné *gb* contient les différents matériaux *eb-gb2*, *eb-gb3* et *eb-gb4*.

4.1.3 Onglet Conditions météo

Cet onglet permet de configurer le calcul de l'indice de gel atmosphérique admissible *Ia* et de choisir ou saisir un indice de gel de référence *Ir* (Figure 4-8) :

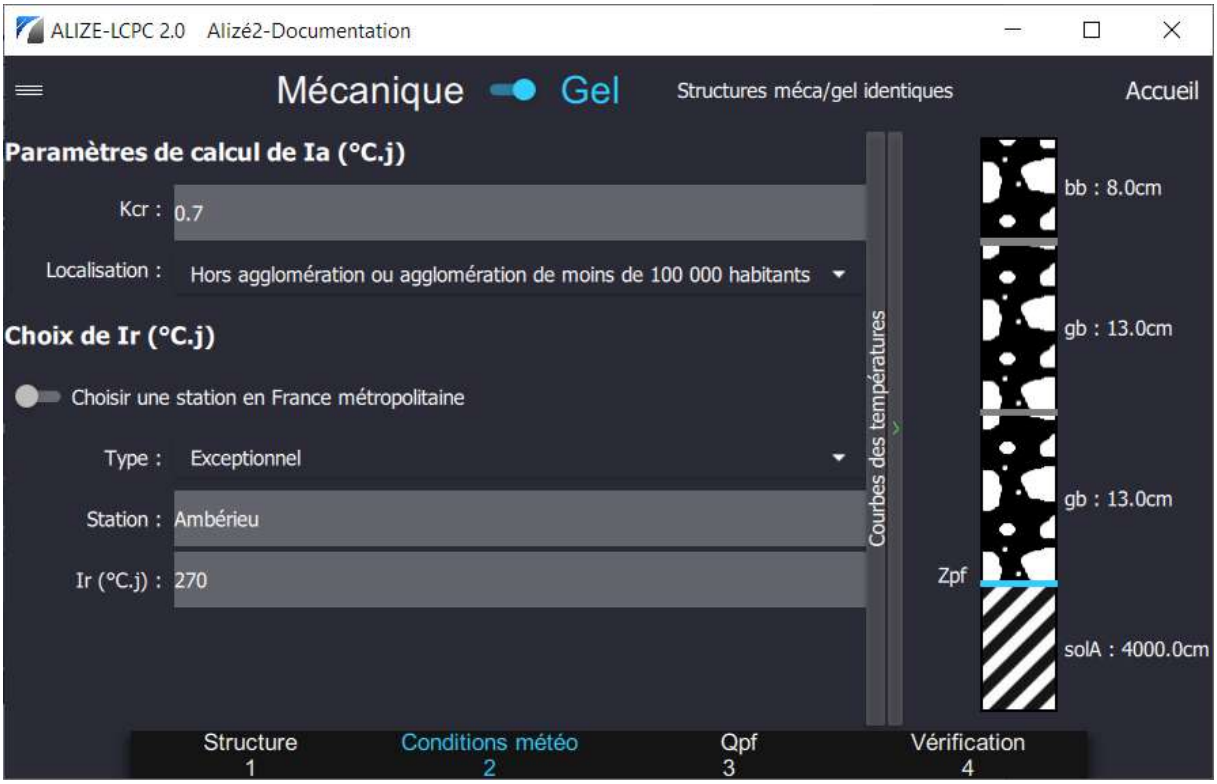


Figure 4-8 : vue globale de l'onglet Conditions météo

Dans Alizé2®, *Iatm* est la valeur d'indice de gel atmosphérique, *Ia* est la valeur d'indice de gel atmosphérique admissible.

➢ Calcul de *Ia*

Le calcul de *Ia* dépend, entre autres, du coefficient *Kcr* et de la localisation (en termes de taille de population) de la chaussée à dimensionner (Figure 4-9) :

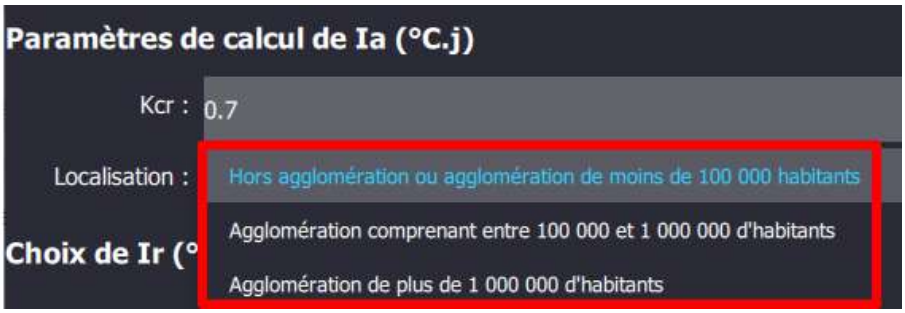


Figure 4-9 : paramètres de calcul de Ia

Selon le choix opéré par l'utilisateur pour la localisation (cadre rouge), la formule de calcul de *Ia* sera adaptée à l'aide d'un coefficient de pondération.

Pour plus d'informations sur *Kcr* et le coefficient de pondération lié à la localisation, se reporter à la norme NF P98-086 2019 [1], section 6.2.4.

➢ Choix de *Ir*

L'indice de gel de référence *Ir* peut être défini par l'utilisateur ou par choix d'une station référencée.

❖ Saisie par l'utilisateur

Dans le cas d'une saisie par l'utilisateur, celui-ci est amené (Figure 4-10) à :

- choisir le type d'hiver : *Exceptionnel* ou *Rigoureux non exceptionnel* ;
- nommer la station ;
- indiquer l'indice de gel de référence *Ir*.

Figure 4-10 : définition par l'utilisateur de Ir

❖ Choix d'une station

L'utilisateur peut aussi choisir une station après avoir basculé le commutateur *Choisir une station en France métropolitaine* vers la droite. Un tableau de stations de France métropolitaine avec leurs indices de gel de référence apparaît alors, classé initialement par numéro de département (Figure 4-11) :

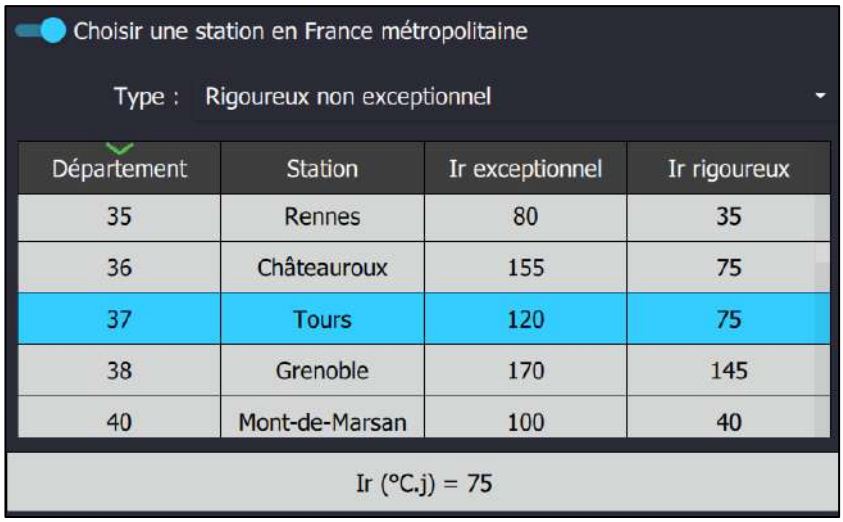


Figure 4-11 : choix d'une station pour la définition de Ir

Après avoir sélectionné le type d'hiver (*Exceptionnel* ou *Rigoureux non exceptionnel*) dans la liste déroulante au-dessus du tableau, puis la station désirée, la valeur de *Ir* retenue pour la vérification s'affiche dans le bandeau situé sous le tableau.

Pour trouver rapidement la station adaptée à la situation, il est possible, en cliquant sur les en-têtes de colonnes, de trier le tableau en ordre croissant ou décroissant selon les numéros de département, les noms des stations ou les valeurs d'indices de gel.

4.1.4 Onglet Qpf

Cet onglet permet de déterminer la quantité de gel admissible au niveau de la plateforme Zpf (Figure 4-12) :

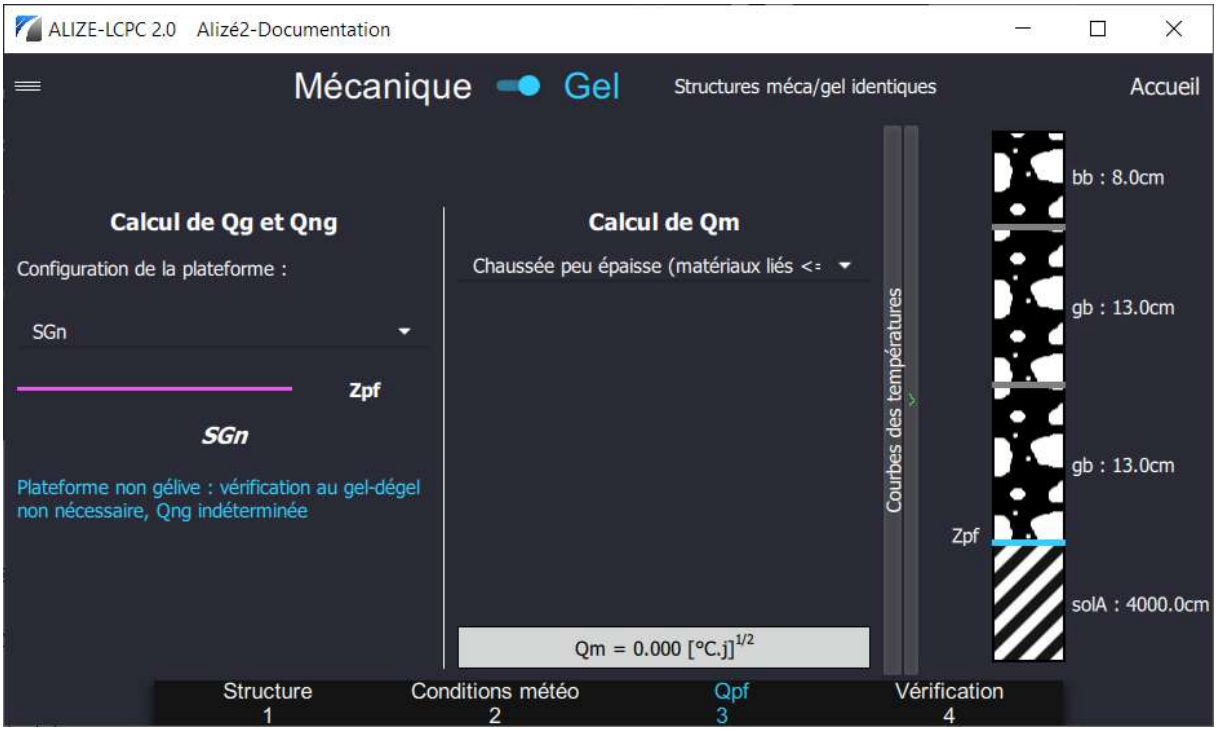


Figure 4-12 : vue globale de l'onglet Qpf

Cet onglet comporte deux parties (en plus des volets latéraux) :

- la partie de gauche permet le calcul des quantités de gel admissibles *Qg* pour les matériaux gélifs et *Qng* pour les matériaux non gélifs ;
- la partie de droite permet le calcul de la quantité de gel mécanique *Qm*.

➢ Calcul de *Qg* et *Qng*

Par défaut, la plateforme proposée est non gélive (*SGn*), mais l'utilisateur peut sélectionner une autre configuration parmi les différentes options présentées (Figure 4-13) :

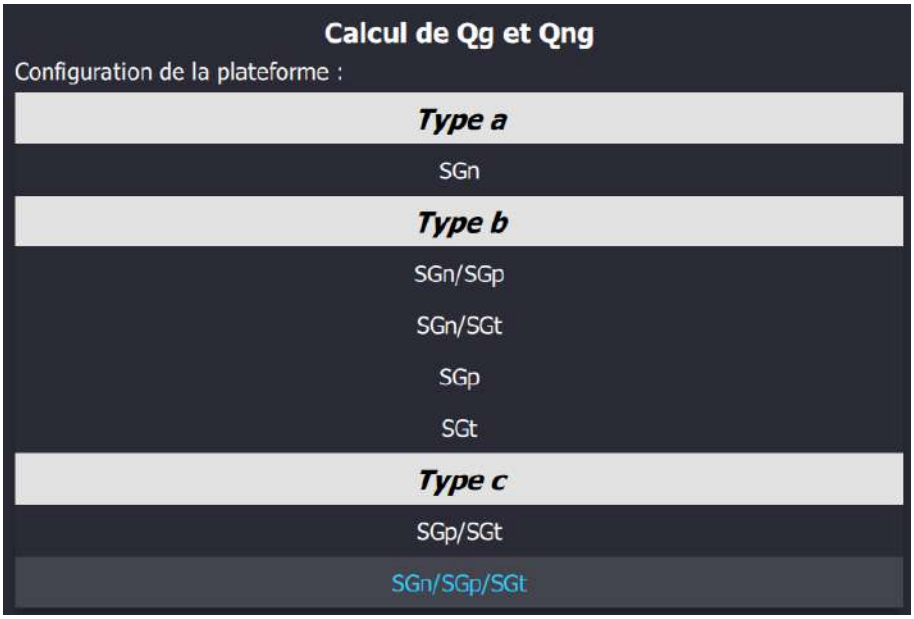


Figure 4-13 : sélection de la configuration de la plateforme

Les types de configurations (*a*, *b*, *c*) et les sensibilités au gel (*SGn*, *SGp*, *SGt*) des matériaux sont décrits dans la norme NF P98-086 2019 [1], section 6.2.1.

❖ Configuration *Type a – SGn*

Dans cette configuration, la plateforme étant non gélive, la vérification au gel n'est pas nécessaire. Alizé2® ne peut pas calculer les paramètres Qg et Qng.

❖ Configurations *Type b – SGn/SGp* et *SGn/SGt*

Dans le cas *SGn/SGp* (Figure 4-14), l'utilisateur doit renseigner :

- la hauteur *Hn* ;
- si ce matériau est traité aux liants hydrauliques (MTLH) ;
- la catégorie de matériau constituant la couche non gélive ;
- la pente *p* relative à la couche peu gélive.

Dans le cas *SGn/SGt*, les paramètres à renseigner sont identiques, la pente *p* étant cette fois relative à la couche très gélive.

Figure 4-14 : paramétrage de la configuration SGn/SGp

Le coefficient *An* est calculé automatiquement par Alizé2® en fonction de la classification du matériau.

❖ Configurations *Type b – SGp* et *SGt*

Dans le cas *SGp* (Figure 4-15), l'utilisateur doit renseigner la pente *p* relative à la couche peu gélive, et dans le cas *SGt*, la pente *p* relative à la couche très gélive.

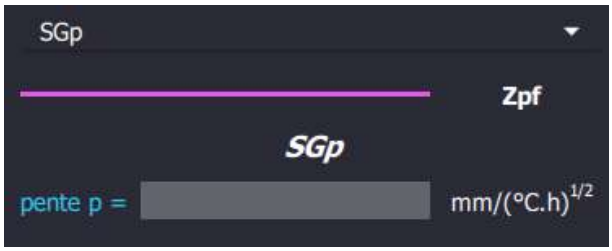


Figure 4-15 : paramétrage de la configuration SGp

❖ Configurations *Type c – SGp/SGt* et *SGn/SGp/SGt*

Dans le cas *SGp/SGt* (*Figure 4-16*), l'utilisateur doit renseigner :

- la hauteur *Hp* ;
- la pente *p* relative à la couche peu gélive ;
- si ce matériau est traité aux liants hydrauliques (MTLH) ;
- la catégorie de matériau constituant la couche peu gélive ;
- la pente *p* relative à la couche très gélive.

Le coefficient *Ap* est calculé automatiquement par Alizé2® en fonction de la classification du matériau.

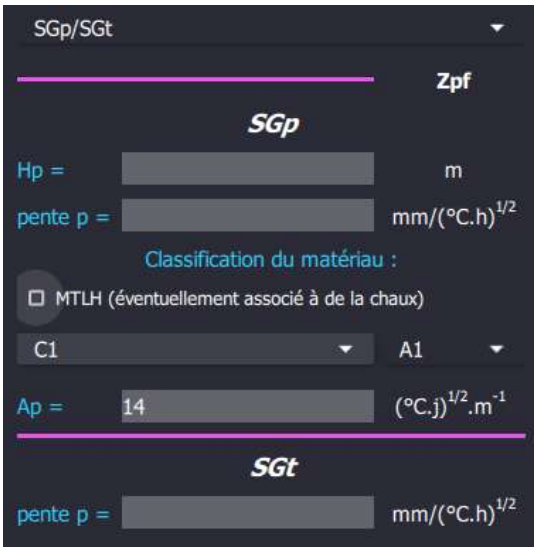


Figure 4-16 : paramétrage de la configuration SGp/SGt

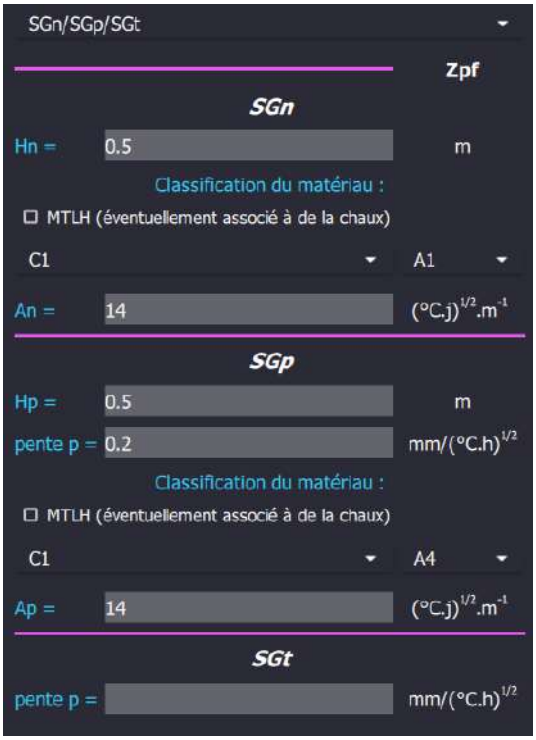


Figure 4-17 : paramétrage de la configuration SGn/SGp/SGt

Dans le cas *SGn/SGp/SGt* (*Figure 4-17*), l'utilisateur doit renseigner en plus :

- la hauteur *Hn* ;
- si ce matériau est traité aux liants hydrauliques (MTLH) ;
- la catégorie de matériau constituant la couche non gélive.

Les informations complètes relatives aux coefficients *An*, *Ap* et à la pente *p* de l'essai de gonflement au gel sont fournies dans la norme NF P98-086 2019 [1], annexe C.

Après avoir renseigné les différents paramètres correspondant à la configuration choisie et à l'exception de la configuration *Type a – SGn*, l'utilisateur peut constater en bas de fenêtre les valeurs de *Qng* et de *Qg* qu'Alizé2® a calculées automatiquement (*Figure 4-18*) :

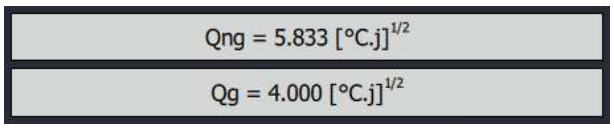


Figure 4-18 : affichage des résultats du calcul de Qng et de Qg

- Calcul de *Qm*

Le calcul de la quantité de gel mécanique *Qm* associée à la structure est fonction de l'épaisseur totale des couches liées. L'utilisateur doit ainsi sélectionner la configuration de la chaussée étudiée (*Figure 4-19*) :

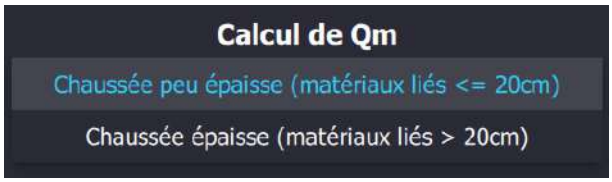


Figure 4-19 : choix de la configuration de chaussée pour le calcul de Qm

❖ Cas d'une chaussée peu épaisse

Selon la norme NF P98-086 de 2019 (paragraphe 6.2.1.5), lorsque l'épaisseur totale des couches liées est inférieure ou égale à 20 cm, *Qm* est nul.

❖ Cas d'une chaussée épaisse

Si l'épaisseur totale des couches liées est supérieure à 20 cm, l'utilisateur doit la renseigner ou la calculer.

- En cas de saisie directe de l'épaisseur *e*, *Qm* est calculé instantanément et vaut dix fois *e*.
- En cas de calcul de l'épaisseur *e* par Alizé2®, l'utilisateur doit basculer le commutateur vers la droite (*Figure 4-20*) afin de pouvoir choisir, selon les préconisations de la norme NF P98-086 de 2019 :
  - la couche à laquelle s'applique le critère mécanique le plus pénalisant ;
  - la nature de ce critère, en termes de contrainte σ_T ou de déformation ε_T.

  Le bouton *Calculer* permet de déclencher le calcul en utilisant la structure définie dans la partie Mécanique. L'algorithme est explicité dans la norme NF P98-086 de 2019 (paragraphe 6.2.1.5).

  À titre informatif, les résultats de chaque itération du calcul sont présentés dans un tableau (*Figure 4-20)* dont la dernière ligne est retenue pour le calcul de *Qm*.

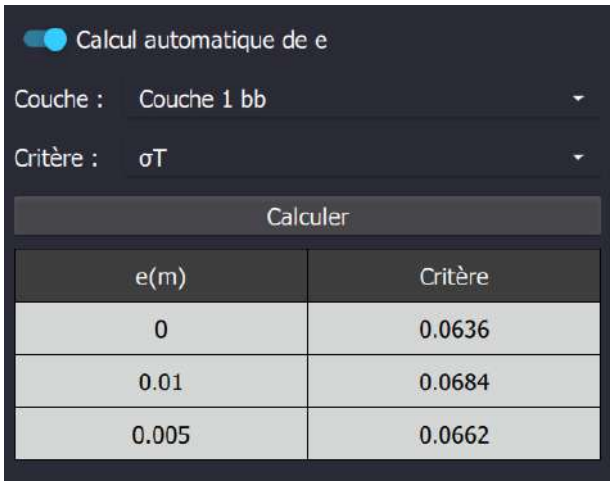


Figure 4-20 : calcul de e selon la couche et le critère sélectionnés

Dans les deux cas, la valeur de *Qm* s'actualise en bas de fenêtre :

Figure 4-21 : affichage du résultat du calcul de Qm

- Calcul de *Qpf*

  Pour la configuration *Type a – SGn*, aucun calcul de la quantité de gel Qpf n'est réalisé.

  Pour les autres configurations, la quantité de gel *Qpf* admissible au niveau de la plateforme support de chaussée est la somme des quantités *Qg*, *Qng* et *Qm* calculées précédemment. Sa valeur s'affiche et s'actualise automatiquement en haut de la fenêtre (*Figure 4-22*) :

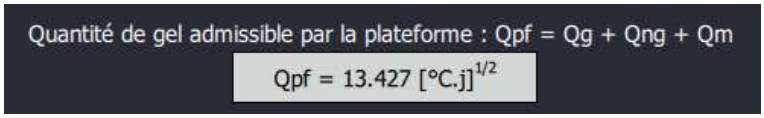


Figure 4-22 : affichage du calcul de Qpf

4.1.5 Onglet Vérification

Cet onglet permet d'aboutir, grâce aux formules indiquées dans la norme NF P98-086 de 2019, au calcul de l'indice de gel atmosphérique admissible *Ia*.

La comparaison de *Ia* avec l'indice de référence *Ir* obtenu dans l'onglet *Conditions météo* permet alors de conclure positivement ou négativement à la vérification au gel. Le verdict apparaît respectivement en vert ou en rouge dans le bandeau au-dessus des onglets (Figure 4-23) :

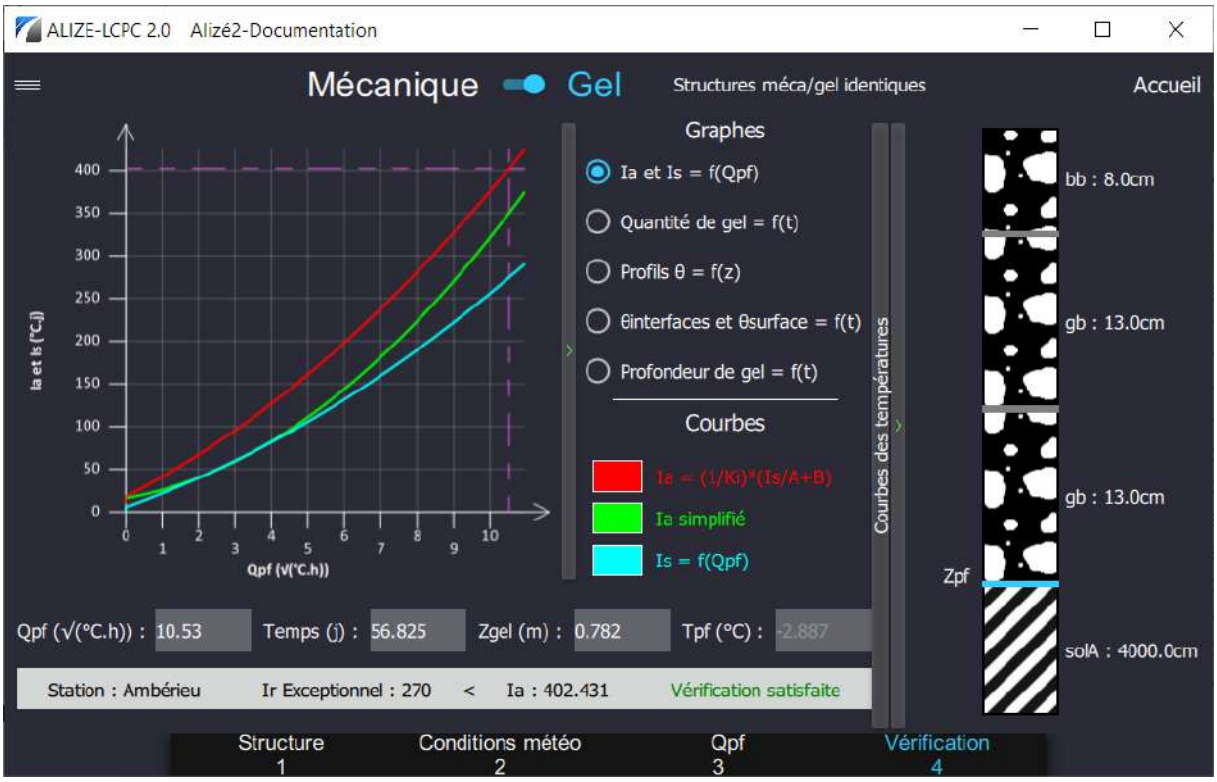


Figure 4-23 : vue globale de l'onglet Vérification

Au-dessus de ce bandeau sont affichées quatre valeurs issues du calcul basé sur les données des trois premiers onglets.

Lorsqu'une valeur de quantité de gel *Qpf* admissible au niveau de la plateforme a été calculée à partir de l'onglet *Qpf*, l'utilisateur accède aux valeurs de *Temps* (en jours), de profondeur de gel *Zgel* (m) et de température *Tpf* (°C) au niveau de la plateforme lorsque la quantité de gel à ce niveau atteint cette valeur.

Par ailleurs, cet onglet permet de réaliser des calculs personnalisés. Ainsi, il est possible de saisir directement la valeur de quantité de gel admissible *Qpf* pour la structure. Les paramètres *Temps*, *Zgel* et *Tpf* sont alors recalculés. Le fonctionnement est identique si on modifie les paramètres *Temps* et *Zgel* : les valeurs non saisies sont automatiquement recalculées.

	Lorsqu'une des trois valeurs *Qpf*, *Temps* ou *Zgel* est modifiée, la représentation de cette valeur s'actualise automatiquement sur les graphes.
	Si une des trois valeurs *Qpf*, *Temps* ou *Zgel* a été modifiée, le fait de quitter l'onglet *Vérification* provoque instantanément la réinitialisation de ces trois champs.
	La valeur de *Temps* étant plafonnée à 60 jours, les autres champs sont réduits à 0 si cette valeur est dépassée. Dans ce cas, on ne peut rien conclure quant à la vérification au gel.

Outre le résultat de la vérification au gel, cet onglet offre la possibilité de consulter divers graphes associés à l'étude :

- Graphe des courbes d'indices de gel atmosphérique admissible *Ia* et en surface de chaussée *Is* en fonction de la quantité de gel transmise à la plateforme

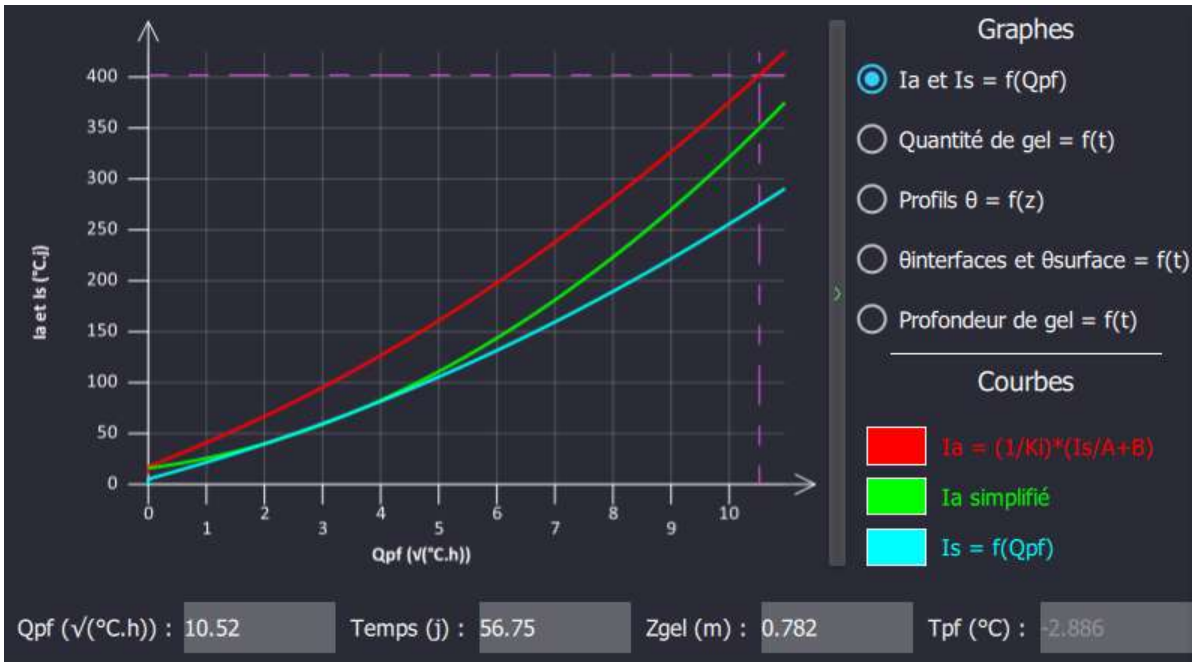


Figure 4-24 : Courbes des indices Ia et Is en fonction de Qpf

Sur la Figure 4-24 ci-dessus :

- La courbe rouge donne les valeurs de *Ia* en fonction de *Qpf* selon la formule Ia = (1/Ki)*(Is/A+B). En particulier, le graphe identifie par les lignes en pointillés la valeur maximale de *Qpf* admissible, et la valeur de *Ia* correspondante ;

- La courbe verte donne les valeurs de *Ia* simplifié (par un calcul explicité dans la norme NF P98-086 de 2019, annexe H) en fonction de *Qpf* ;
- La courbe cyan donne les valeurs de *Is* en fonction de *Qpf*.

La couleur des courbes peut être modifiée en cliquant sur le carré de couleur dans la légende. Pour plus de détails, voir la section 3.2.5 Onglet Résultats sur les courbes 2D.

➢ Graphe des courbes de quantité de gel en fonction du temps

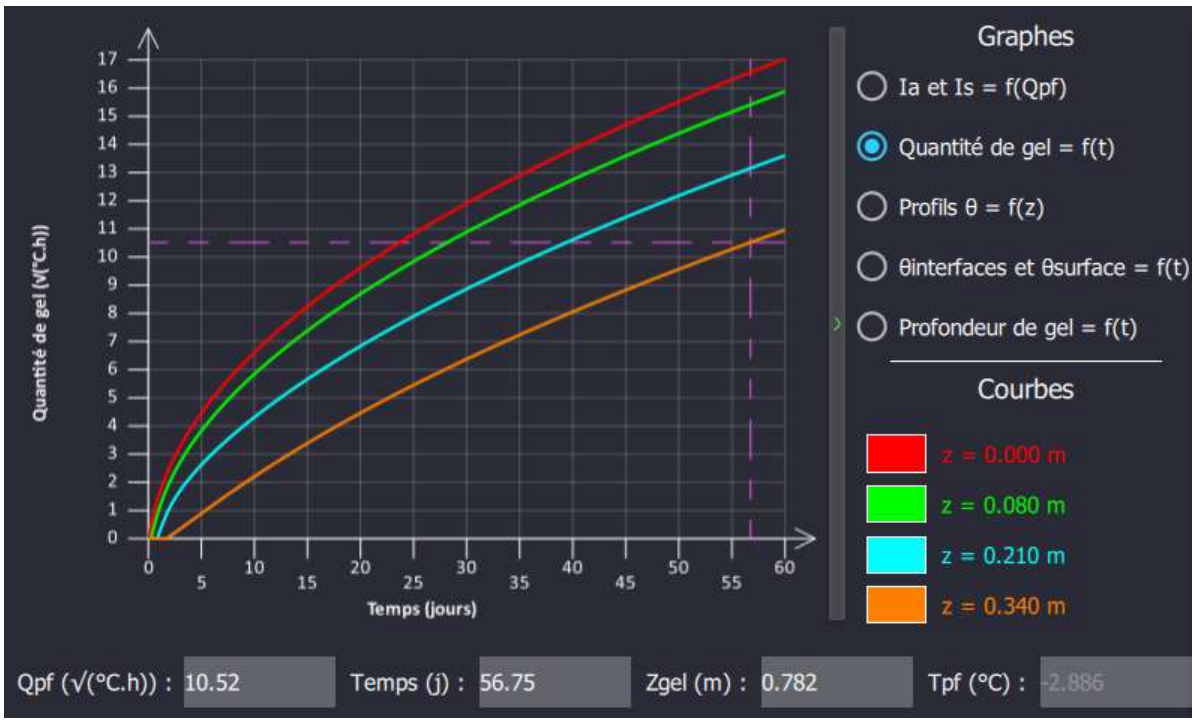


Figure 4-25 : Courbes des quantités de gel à différentes profondeurs en fonction du temps

Une courbe de quantité de gel est tracée pour chaque profondeur correspondant à une interface de couches (Figure 4-25). Dans l'exemple :

- au niveau de la surface du sol : Z = 0.000 m – courbe rouge
- au niveau de la 1re interface : Z = 0.080 m – courbe verte
- au niveau des interfaces suivantes : Z = 0.210 m – courbe cyan
- au niveau de la plateforme : Z = 0.340 m – courbe orange

Le graphe identifie par les lignes en pointillés la valeur maximale de *Qpf* admissible au niveau de la plateforme (courbe orange), et la valeur correspondante en jours. Ces valeurs sont également indiquées dans les champs affichés sous le graphique : dans le cas de la Figure 4-25, 10.52 pour *Qpf* et 56.75 pour le temps.

- Graphe des profils verticaux de la température à différents instants

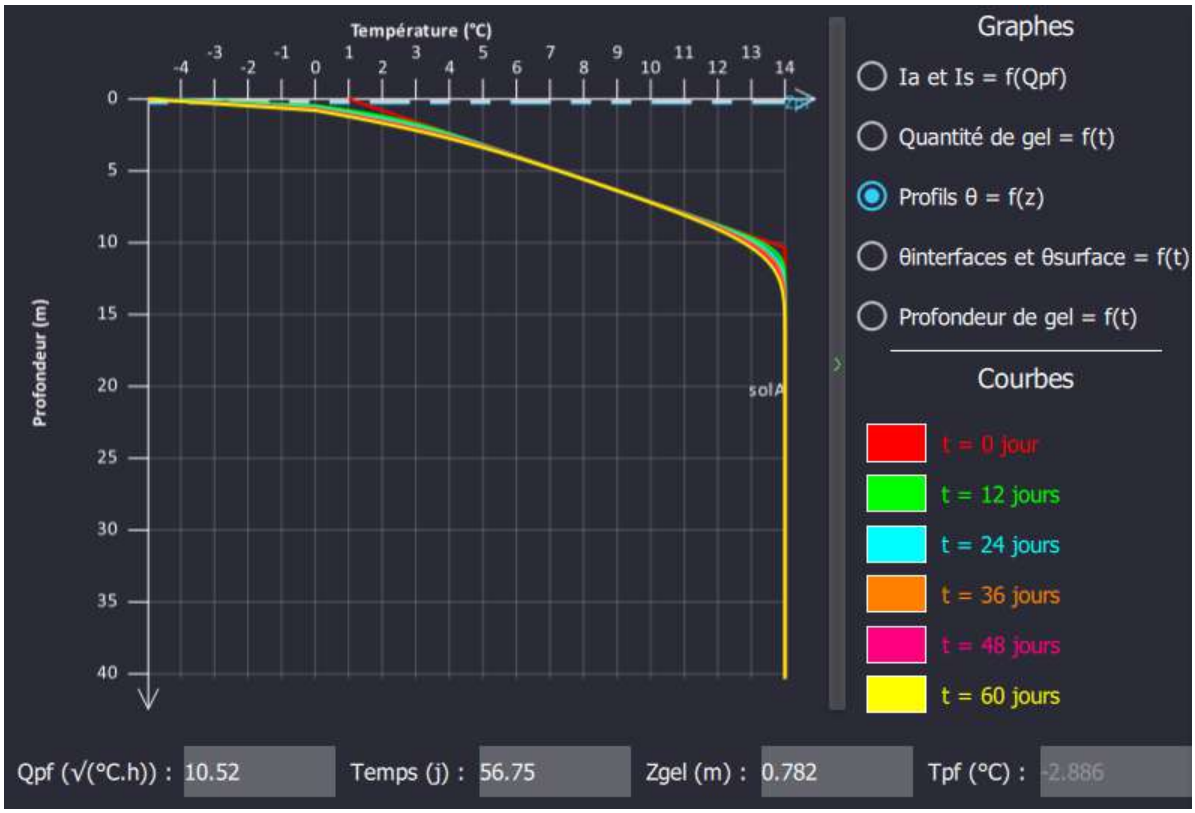


Figure 4-26 : profils verticaux de la température à différents instants

Le graphe affiche la courbe de la température correspondant à l'instant t = 0 jour, puis une courbe par intervalle de douze jours jusqu'à 60 jours (durée d'observation).

- Graphe des courbes de la température en fonction du temps

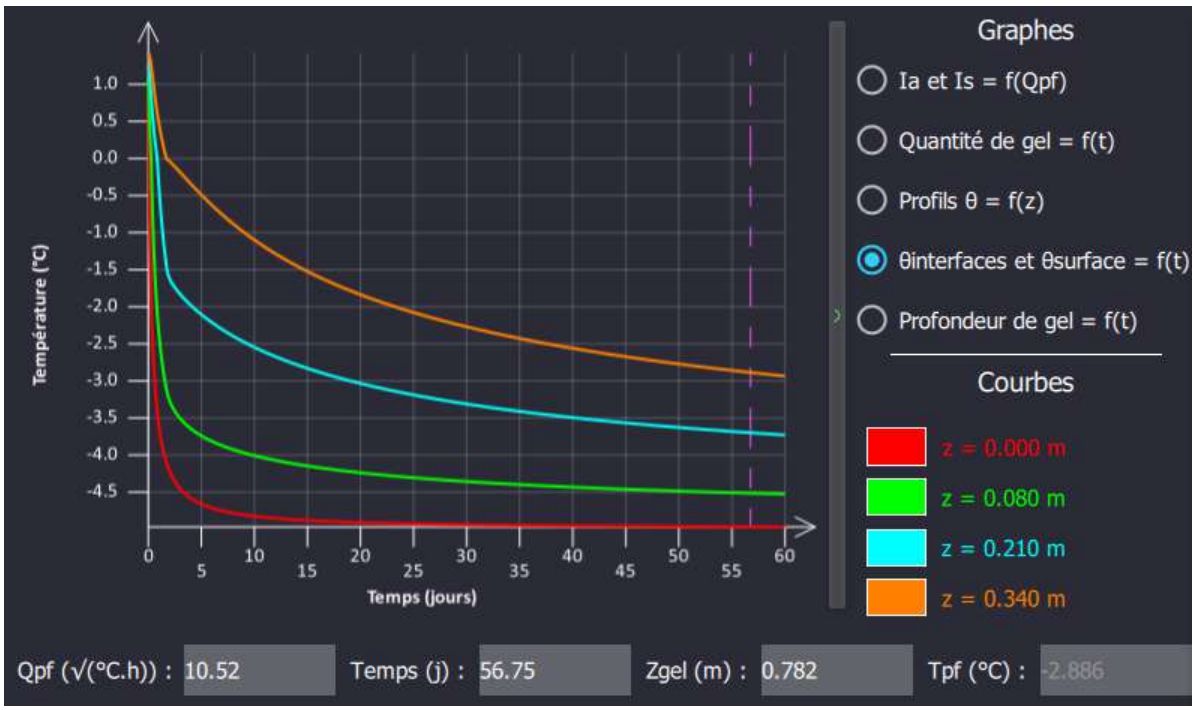


Figure 4-27 : Courbes de la température en fonction du temps

Une courbe de température est tracée pour des profondeurs correspondant à la surface du sol et à chaque interface de couches. Dans l'exemple de la Figure 4-27 :

- au niveau de la surface du sol : Z = 0.000 m – courbe rouge
- au niveau de la 1re interface : Z = 0.080 m – courbe verte
- au niveau des éventuelles interfaces suivantes : Z = 0.210 m – courbe cyan
- au niveau de la plateforme : Z = 0.340 m – courbe orange

Le graphe identifie par la ligne verticale en pointillés la valeur en jours correspondant au Qpf maximal admissible, soit 56.75 j pour l'exemple de la Figure 4-27.

➢ Graphe des courbes de profondeur de gel en fonction du temps

Figure 4-28 : Courbes de profondeur de gel en fonction du temps

Ce graphe permet de constater l'évolution de la propagation du front de gel dans les couches de la chaussée au fil des jours.

Les lignes horizontales en pointillés blancs représentent les profondeurs aux interfaces des couches de la chaussée et la ligne en pointillés bleus représente la profondeur du sommet de la plateforme.

Les lignes en pointillés violets permettent de repérer la profondeur de gel correspondant au moment auquel la quantité de gel a atteint la valeur admissible par la plateforme. Ces valeurs observables sur le graphique sont reportées dans les champs affichés en-dessous. Dans l'illustration de la Figure 4-28, l'utilisateur peut remarquer que le gel pénètre jusqu'à la profondeur de 0.782 m au bout d'une durée de 56.75 jours.

➢ Rapport gel

Le menu Projet de l'onglet *Vérification* comporte une nouvelle option *Rapport gel* (Figure 4-29), permettant de générer un document de synthèse.

Figure 4-29 : accès au rapport gel via le menu Projet

Une fenêtre (Figure 4-30) permet à l'utilisateur de personnaliser ce rapport.

Ainsi, l'utilisateur peut saisir librement certaines informations qui seront affichées dans le rapport, telles que :

- un nom de projet singulier correspondant au titre donné au rapport, ainsi que le nom de son auteur ;
- une description de l'étude ;
- un avertissement ou une observation concernant l'étude ;
- une conclusion.

En cliquant sur *Valider*, le rapport au format pdf est généré et enregistré automatiquement dans le même dossier que le projet. Il porte le nom *Note_de_calcul_Gel_date_heure* où la date au format « jj-mm-aaaa » et l'heure au format « hh-mm » correspondent au moment de la génération du rapport.

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.

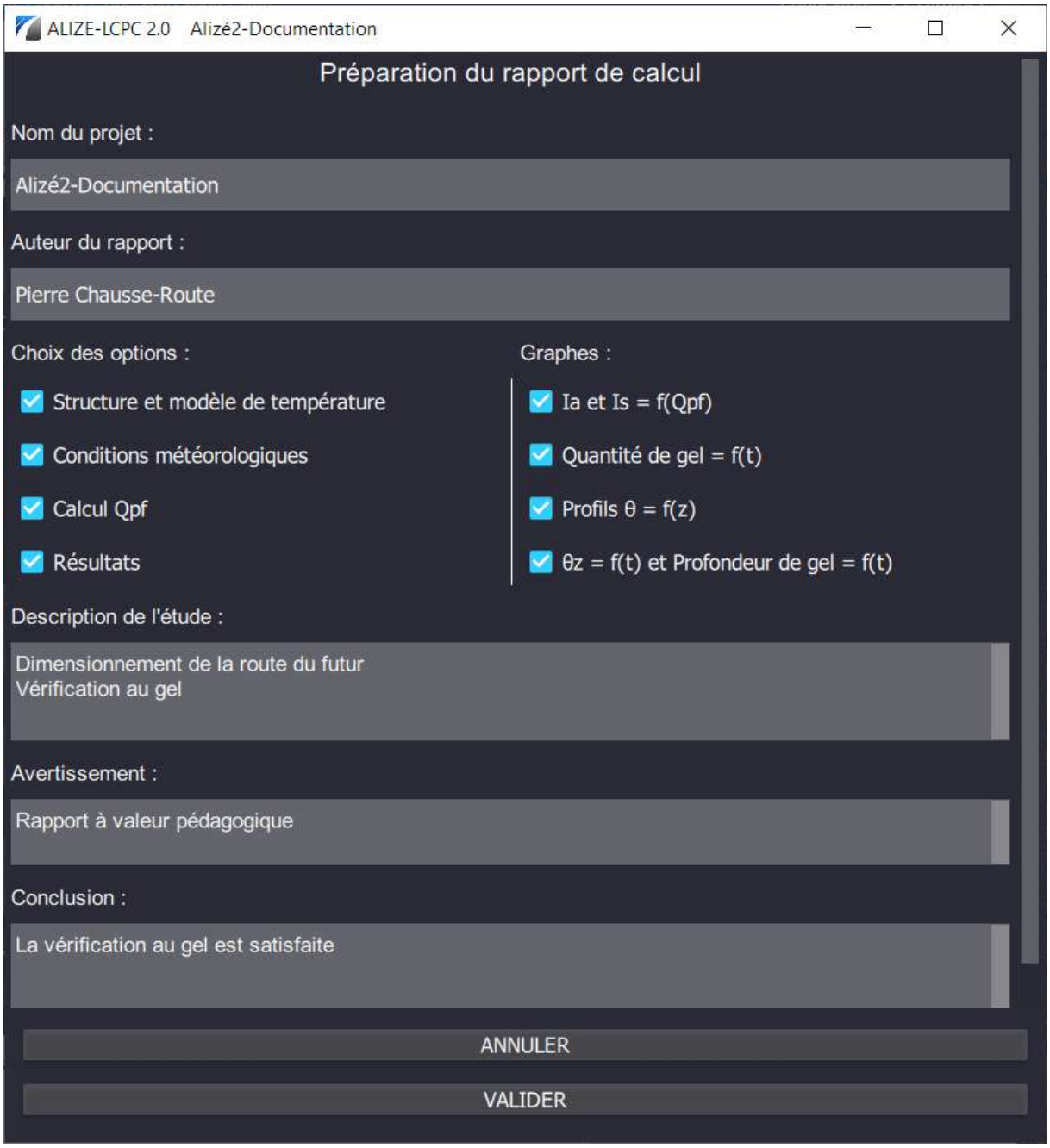
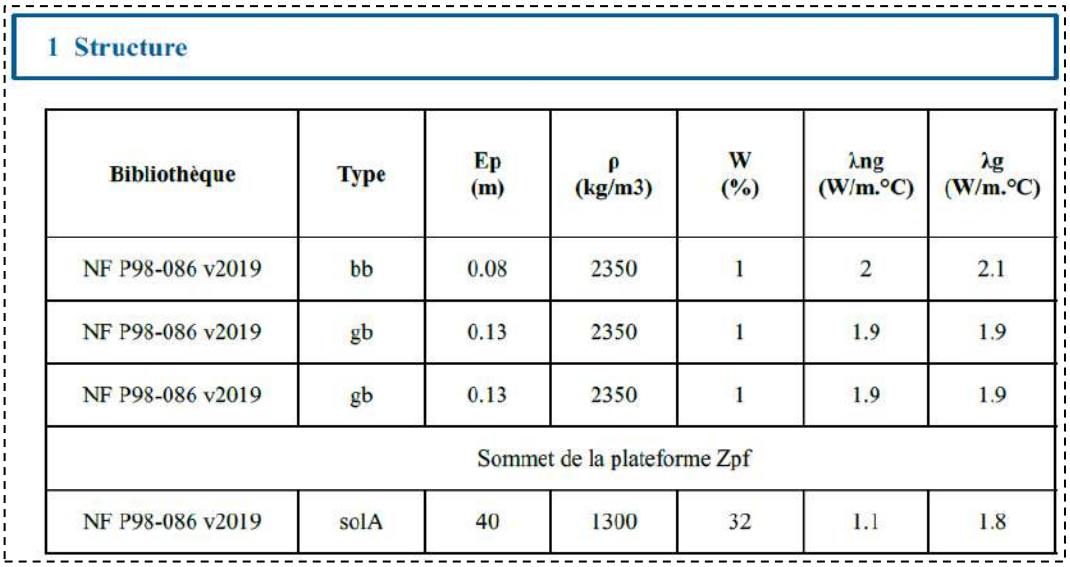


Figure 4-30 : paramétrage du rapport gel

Les données issues de l'onglet *Structure* et intégrées dans le rapport (Figure 4-31) sont celles du tableau des données de cet onglet, déjà listées plus haut (voir 4.1.2 Onglet Structure).

Le sommet de la plateforme Zpf est également indiqué.



1 Structure

Bibliothèque	Type	Ep (m)	ρ (kg/m3)	W (%)	λng (W/m.°C)	λg (W/m.°C)
NF P98-086 v2019	bb	0.08	2350	1	2	2.1
NF P98-086 v2019	gb	0.13	2350	1	1.9	1.9
NF P98-086 v2019	gb	0.13	2350	1	1.9	1.9
Sommet de la plateforme Zpf						
NF P98-086 v2019	solA	40	1300	32	1.1	1.8

Figure 4-31 : exemple de partie du rapport gel liée à l'onglet Structure

Le modèle de température utilisé est ensuite indiqué (Figure 4-32) :

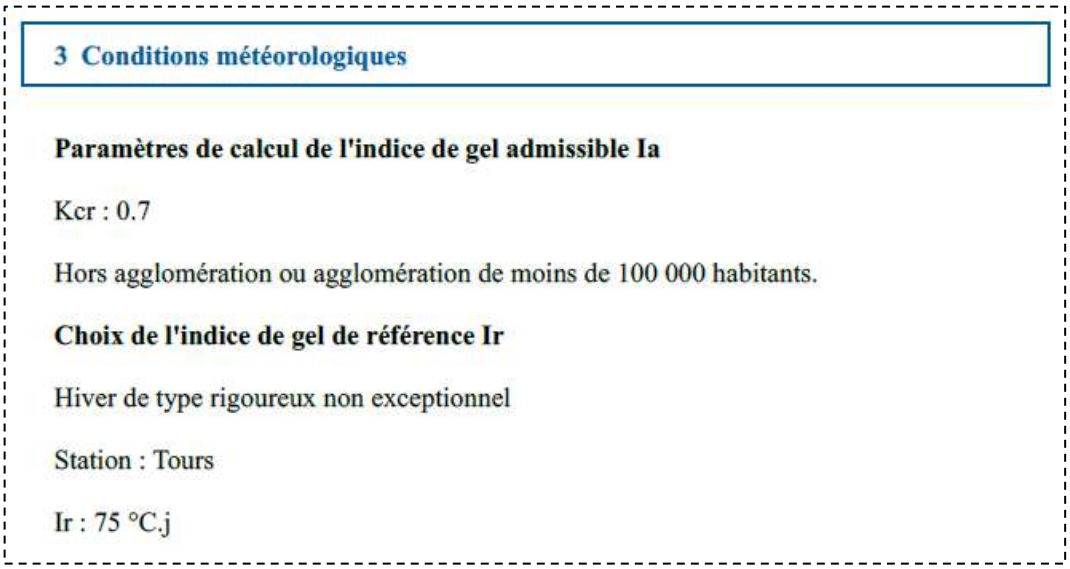
2 Modèle de température

Températures : Modèle Lcpc-Sétra

Figure 4-32 : exemple de partie du rapport gel liée au modèle de température

Les données issues de l'onglet *Conditions météo* et intégrées dans le rapport (*Figure 4-33*) sont les suivantes :

- les paramètres de calcul de l'indice de gel admissible Ia : Kcr et le choix de la localisation ;
- la valeur de l'indice de gel de référence Ir, à partir du type d'hiver et du choix de la station.



3 Conditions météorologiques

Paramètres de calcul de l'indice de gel admissible Ia

Kcr : 0.7

Hors agglomération ou agglomération de moins de 100 000 habitants.

Choix de l'indice de gel de référence Ir

Hiver de type rigoureux non exceptionnel

Station : Tours

Ir : 75 °C.j

Figure 4-33 : exemple de partie du rapport gel liée à l'onglet Conditions météo

Les données relatives au calcul de *Qpf* et intégrées dans le rapport sont :

- le choix de la configuration de la plateforme selon les sensibilités au gel (SGn, SGp, SGt) des matériaux (*Figure 4-13*) ;
- les caractéristiques des couches de la plateforme, à savoir la hauteur de la couche supérieure de la plateforme et tous les coefficients nécessaires au calcul de *Qg* et de *Qng* (*Figure 4-34*) ;
- l'épaisseur de la chaussée permettant d'aboutir au calcul de *Qm (Figure 4-35)* ;
- le résultat *Qpf* de la somme des valeurs de *Qg*, *Qng* et *Qm (Figure 4-36)*.

4-3 Quantités de gel Qng et Qg des parties non gélive et gélive de la plateforme

Partie du sol	Paramètre	Valeur	Unité
non gélive	Epaisseur Hn	0.50	m
SGn	Classification des matériaux	(C1)A1	-
(Qng)	MTLH éventuellement associés à de la chaux	Non	-
	Protection thermique apportée An	14	(°C.j)^(1/2).m^-1
peu gélive	Epaisseur Hp	0.50	m
SGp	Pente p de la droite obtenue à l'essai de gonflement au gel	0.2	mm/(°C.h)^(1/2)
	Classification des matériaux	(C1)A4	-
(Qg)	MTLH éventuellement associés à de la chaux	Non	-
	Protection thermique apportée Ap	14	(°C.j)^(1/2).m^-1
très gélive SGt (Qg)	Pente p de la droite obtenue à l'essai de gonflement au gel	0.7	mm/(°C.h)^(1/2)
	Valeur de Qng	5.833	(°C.j)^(1/2)
	Valeur de Qg	4.000	(°C.j)^(1/2)

Figure 4-34 : exemple de partie du rapport gel liée au calcul de Qng et Qg

4-4 Quantité de gel Qm liée à la structure de la chaussée

Type de chaussée	Chaussée épaisse (matériaux liés > 20 cm)
Détermination de e	Valeur saisie par l'utilisateur
Valeur de e	0.070 m
Qm	0.700 (°C.j)^(1/2)

Figure 4-35 : exemple de partie du rapport gel liée au calcul de Qm

4-5 Quantité de gel totale Qpf

Qng = 5.833 (°C.j)^(1/2), Qg = 4.000 (°C.j)^(1/2), Qm = 0.700 (°C.j)^(1/2)

Qpf = Qng + Qg + Qm = 10.533 (°C.j)^(1/2)

Figure 4-36 : exemple de partie du rapport gel liée au calcul de Qpf

La partie *Résultats* (*Figure 4-37*) du rapport gel fournit :

- les caractéristiques calculées : la valeur de Qpf, le temps et la profondeur de gel Zgel associées et l'indice de gel atmosphérique admissible Ia ;
- le rappel de la référence choisie pour la comparaison avec le calcul ;
- une conclusion sommaire sur la validité ou non de la structure vis-à-vis du gel.

5 Résultats

Caractéristiques calculées :
- Quantité de gel admissible au niveau de la plateforme : Qpf = 10.53 (°C.j)^(1/2)
- Temps = 56.83 j
- Profondeur de gel : Zgel = 0.78 m
- Indice de gel atmosphérique admissible : Ia = 402.43 °C.j

Référence choisie :
- Valeur de l'indice de gel de référence Ir = 75 °C.j
- Station météorologique correspondante : Tours

Pour que la vérification au gel-dégel soit satisfaite, il faut que la valeur de l'indice de gel atmosphérique admissible Ia soit supérieure ou égale à celle de l'indice de gel Ir choisie.

Ia = 402.43 °C.j ≥ Ir = 75 °C.j

Vérification satisfaite.
La capacité de l'ensemble du sol et de la structure à résister aux cycles de gel-dégel est vérifiée dans la limite des hypothèses émises.

Figure 4-37 : exemple de partie du rapport gel liée aux résultats

La partie Graphes affiche les différents graphes choisis. La *Figure 4-38* représente l'un d'entre eux, sachant qu'ils se présentent tous selon un format similaire.

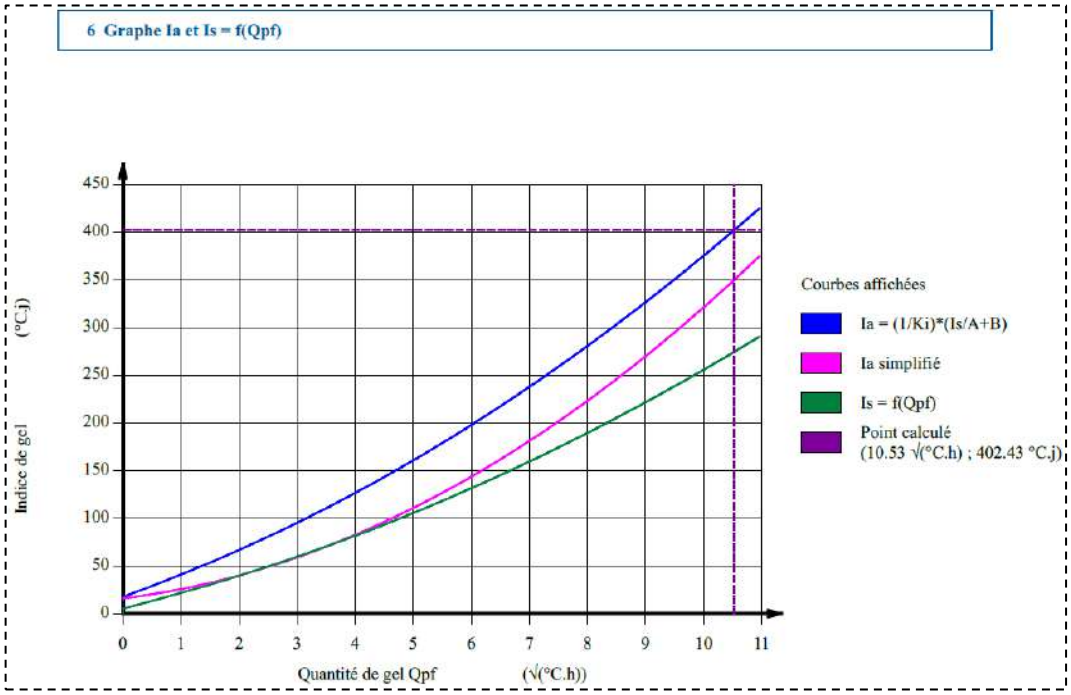


Figure 4-38 : exemple de graphe

Enfin, la partie *Conclusion* (Figure 4-39) reprend exactement et exclusivement le contenu du champ éponyme saisi par l'utilisateur dans la fenêtre de configuration précédant la génération du rapport gel :

Figure 4-39 : exemple de conclusion du rapport gel

5 Bibliographie

[1] Commission de normalisation, NF P 98-086. Dimensionnement structurel des chaussées routières -- Applications aux chaussées neuves., AFNOR, 2019.

[2] D. M. Burmister, «The theory of stresses and displacements in layered systems and applications of the design of airport run ways,» *Proceedings of the Highway Research Board,* n° %123, pp. 126-148, 1943.

[3] LCPC, SETRA, Conception et dimensionnement des structures de chaussée. Guide Technique., 1994.

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 module *Dimensionnement routier Standard*, partie mécanique. Dans la barre d'outils latérale de cet onglet, l'utilisateur clique sur le bouton *Bibliothèque matériaux* (Figure A1 - 1).

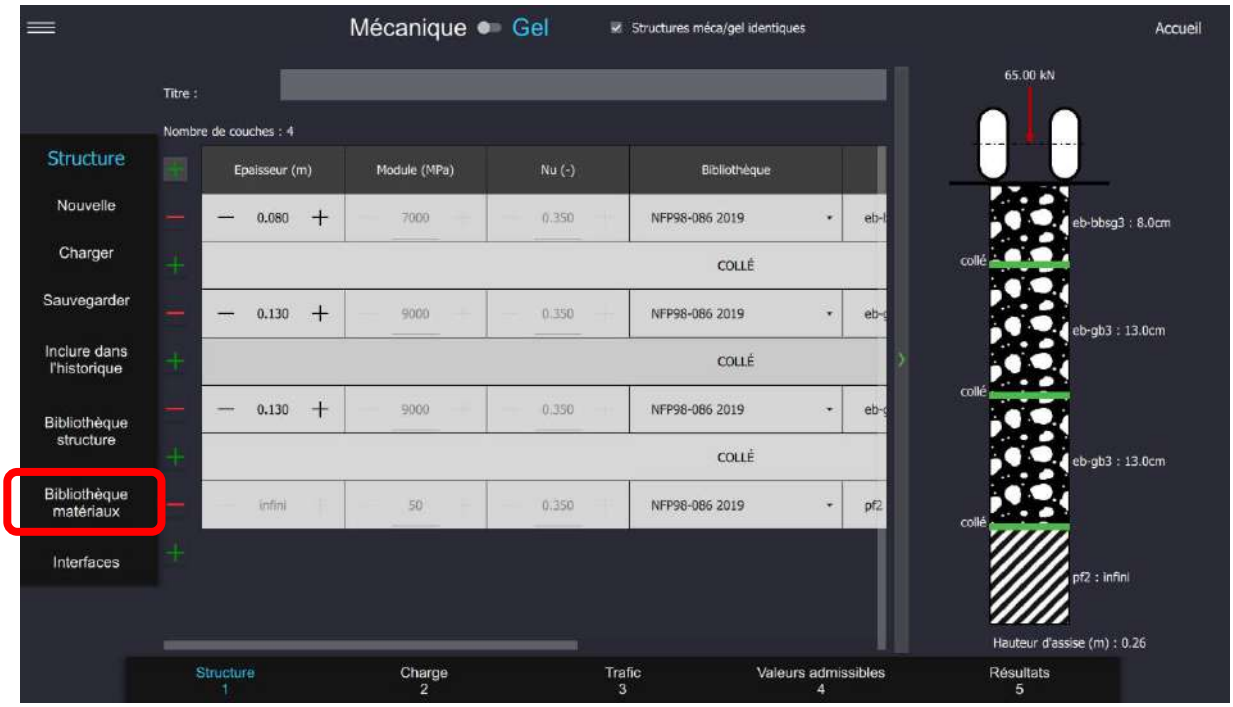


Figure A1 - 1 : ouverture de la fenêtre de visualisation des bibliothèques de matériaux

Une nouvelle fenêtre s'ouvre. L'utilisateur peut alors cliquer sur le bouton *Charger* (Figure A1 - 2), puis définir le chemin vers son fichier au format .csv.

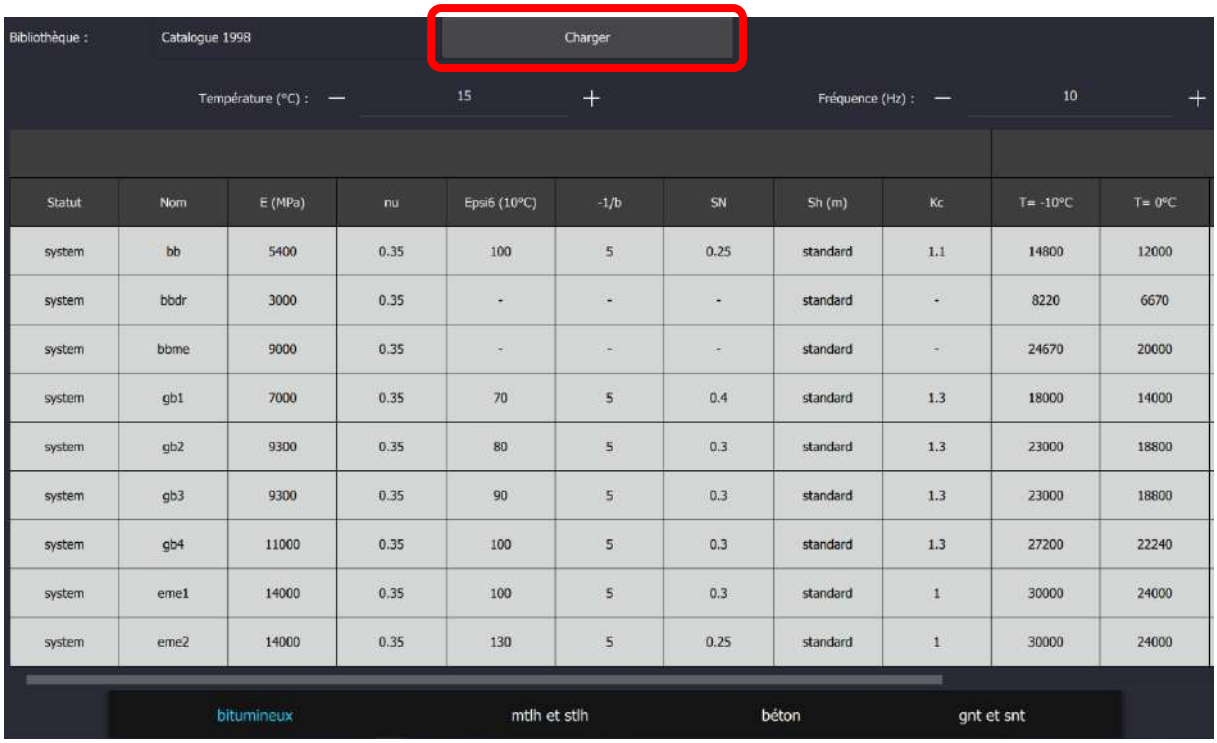


Figure A1 - 2 : chargement d'une bibliothèque utilisateur

Enfin, la bibliothèque étant chargée, l'utilisateur peut définir une structure utilisant ses matériaux (Figure A1 - 3).

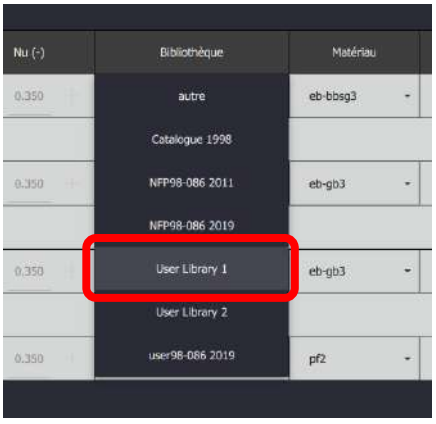


Figure A1 - 3 : choix de la bibliothèque utilisateur User Library 1

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 (MTLH), gntSo (GNT ou sol non traité) ou soTrait (STLH) ;
- le nom de la bibliothèque, choisi par l'utilisateur ;
- E le module d'Young ;
- v 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 $\varepsilon_{z\ adm}$;
- à faible trafic pour le calcul de $\varepsilon_{z\ adm}$;
- à fort trafic pour le calcul de $\varepsilon_{z\ adm}$;
- 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
v (-)	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 la norme (NF P98-086, Section 3.1.1).*

(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).*

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

A2.1 Logiciel

Numéro de version	Sortie	Corrections/Évolutions
2.0.0 à 2.0.3		Module Dimensionnement routier avec vérification au gel
2.0.4	06/2019	Première version commerciale
2.0.5	03/2020	**Corrections :** - problème d'affichage des températures et fréquences lors du passage du module gel vers le module mécanique ; - valeurs admissibles : nombre de chiffres significatifs pour la contrainte admissible affichée ; - béton : modification de 1/Kd ; - enregistrement du titre de la structure ; - harmonisation des titres pour les parties mécanique et gel ; - sauvegarde des Ks lors d'un enregistrement du projet en cours ; - accroissement géométrique nul ; - valeur particulière pour Ks ; - nombre de caractères pour la description de l'étude ; - épaisseur de la plateforme dans la note de calcul à 0.1m. **Évolutions :** - mise à jour des guides "CAM", "Risque" et "Interface" avec la nouvelle norme NF P98-086 2019 [1] ; - ajout d'un guide pour les chaussées "Hors section courante" selon NF P98-086 2019 [1] ; - import d'une bibliothèque de matériaux "utilisateur" depuis un fichier .csv respectant une certaine mise en forme ; - définition de l'assise dans l'onglet "Structure" puis mise à jour automatique de l'épaisseur de l'assise pour le calcul des valeurs admissibles ; - choix d'un matériau dans l'onglet "Structure" : regroupement par type ; - onglets "Structure" et "Résultats" : ajout de barres de défilement.
2.0.6	10/2020	Définition de la bibliothèque utilisateur Diverses corrections et évolutions
	2021	Module Dimensionnement aéronautique

A2.2 Documentation

Numéro de version	Sortie	Corrections/Évolutions
2.0.1	08/2020	Module Dimensionnement routier
2.0.2	11/2020	Annexe A4 – Bibliothèque utilisateur
2.1	05/2021	Vérification au gel

Liste des sigles et acronymes

GNT :	Grave Non Traitée
IFSTTAR :	Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux
JS :	Javascript
LCPC :	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
MTLH :	Matériaux Traités aux Liants Hydrauliques
QML :	Qt Markup Language
Setra :	Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements (service technique français à compétence nationale du ministère de la Transition écologique et solidaire – MTES)
SNT :	Sols Non Traités
STAC :	Service Technique de l'Aviation Civile
STLH :	Sols Traités aux Liants Hydrauliques
VB6 :	Visual Basic, version 6
VRNS :	Voies du Réseau Non Structurant
VRS :	Voies du Réseau Structurant

Alizé2