



Alizé2

Documentation Utilisateur Alizé2®

Dimensionnement routier

Vérification au gel

Rétrocalcul

Version 2.2.2

Equipe equipe Alizé - Université Gustave Eiffel

25 mars 2026

Alizé2[®], Version 2.2.2

Documentation, révision, 25 mars 2026

Historique des versions : voir Annexe B

Rédaction

Jacques Kerveillant¹

Murilo Freitas¹

Contribution

Denis Lièvre¹

Barthélémy Morvan¹

Jean-Michel Piau¹

Nathanaël Ploquin¹

Georgette Agbenda¹

Relecture

Denis Lièvre¹

Barthélémy Morvan¹

Jean-Michel Simonin¹

Christian Tessier¹

Nathanaël Ploquin¹

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

Table des matières

1	Introduction	9
1.1	Historique du logiciel	9
1.1.1	Les débuts	9
1.1.2	L'essor d'Alizé	10
1.1.3	Les derniers développements	10
1.2	Refonte du logiciel	11
1.3	Nouveautés et points forts de la version 2	11
1.3.1	Choix des outils et méthodes de développement	11
1.3.2	Compatibilité avec la version Alizé-LCPC® 1.5	12
1.3.3	Principales nouveautés de Alizé2®	12
1.4	Priorités de développement des différents modules	13
2	Description du logiciel	14
2.1	Gestion des licences pour Alizé2®	14
2.2	Configuration des paramètres généraux d'Alizé2®	15
2.3	Ergonomie et navigation	17
2.4	Gestion d'un projet	19
2.4.1	Création d'un nouveau projet	19
2.4.2	Sauvegarde d'un projet	20
2.4.3	Ouverture d'un projet existant	21
2.4.4	Fermeture d'un projet	21
2.4.5	Suppression d'un projet	22
2.4.6	Sauvegarde automatique	22

2.5	Inclusion dans l'historique	22
3	Dimensionnement routier	25
3.1	Généralités	26
3.1.1	Menu contextuel	26
3.1.2	Schéma de la structure	26
3.1.3	Bibliothèques des structures	26
3.1.4	Bibliothèques des matériaux	28
3.1.5	Guides	30
3.1.6	Vérification au gel	32
3.2	Dimensionnement mécanique Standard	33
3.2.1	Onglet Structure	33
3.2.2	Onglet Charge	39
3.2.3	Onglet Trafic	42
3.2.4	Onglet Valeurs admissibles	43
3.2.5	Onglet Résultats	48
3.3	Rapport mécanique	55
4	Vérification au gel	60
4.1	Vérification d'une chaussée routière	60
4.1.1	Généralités	60
4.1.2	Onglet Structure	62
4.1.3	Onglet Conditions météo	66
4.1.4	Onglet Qpf	68
4.1.5	Onglet Vérification	75

4.2	Rapport gel	79
5	Rétrocalcul	90
5.1	Généralités	90
5.1.1	Menu contextuel	90
5.1.2	Schéma de la structure	91
5.2	Rétrocalcul Standard - bassin unique	91
5.2.1	Onglet Charge	92
5.2.2	Onglet Mesures - bassin unique	93
5.2.3	Onglet Structure	95
5.2.4	Onglet Calcul	100
5.3	Rétrocalcul Standard - bassins multiples	104
5.3.1	Onglet Mesures - importation d'un itinéraire	105
5.3.2	Onglet Mesures - configuration des filtres	107
5.3.3	Onglet Mesures - importation validée	108
5.3.4	Onglet Mesures - Extraction des groupes	109
5.3.5	Onglet Structure et Calcul - bassins multiples	112
5.3.6	Onglet Itinéraire	113
5.4	Rapport RC	116
5.4.1	Paramétrage du rapport	116
5.4.2	Sections du rapport	118
6	Gestion des données	122
6.1	Gestion des données « matériau »	122
6.1.1	Formulaire de création d'un nouveau matériau	123

A	Chargement d'une bibliothèque personnelle de matériaux	127
A.1	Chargement de la bibliothèque	127
A.2	Présentation du fichier	129
A.3	Définir un matériau	130
A.4	Exemple de fichier sans mise en page	132
A.5	Exemple de fichier dans un tableur	132
B	Versions	133
B.1	Logiciel	133
B.2	Documentation	136
C	Chargement d'un fichier de mesures FWD en format Microsoft Acces (.mdb)	137
	Liste des acronymes	139
	Glossaire - Dimensionnement routier	140
	Glossaire - Vérification au gel	141

1 Introduction

Alizé[®] 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 [4]. 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 Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC), puis Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR)), en collaboration avec le Service Technique de l'Aviation Civile (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 siècle¹, 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. https://fr.wikipedia.org/wiki/Hiver_1962-1963_en_Europe

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.

1.1.3 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 logistiques ;
- 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 Aéronautique ;
- le module Rétro calculs ;
- le module Chaussées spéciales.

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 coefficient d'agressivité moyenne du poids lourd par rapport à l'essieu de référence (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 « Rétrocalculs » ;
- Partie mécanique « Expert » du module Dimensionnement routier ;
- Module « Chaussées Spéciales ».

La partie sur la «Gestion des bases de données véhicules » sera développée ultérieurement. La gestion des données matériaux est déjà disponible.



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.

2 Description du logiciel

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

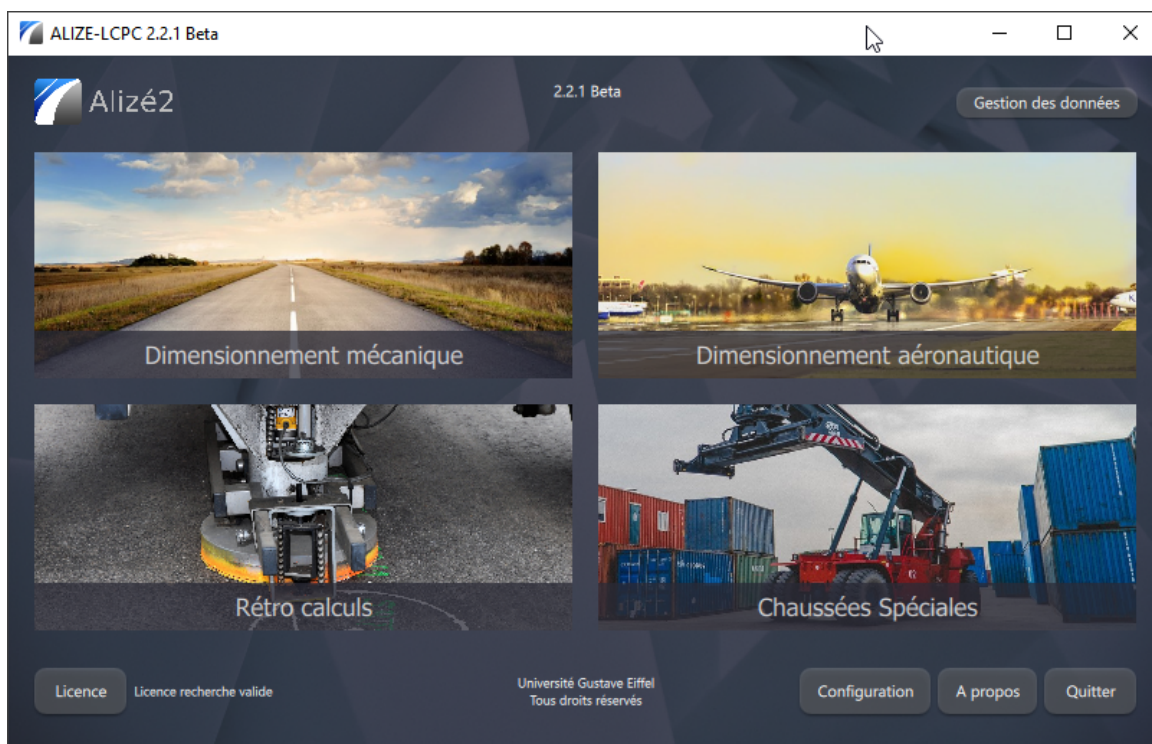


Figure 2.1 - Fenêtre d'accueil de l'application

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 Gestion des licences pour Alizé2®

Le bouton **Licence** en bas à gauche permet d'accéder à plusieurs fonctionnalités et informations liées à la gestion des licences (Figure 2.2). Cette interface peut différer en fonction de la version d'Alizé installée (Recherche ou Commercial) :

- Les licences « Recherche » 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 par-

tenariat. Pour plus d'informations à propos de ces fonctionnalités et cette interface, contactez directement le laboratoire LAMES à l'Université Gustave Eiffel (courriel : alize2@univ-eiffel.fr).

- En ce qui concerne la version commerciale, c'est Itech, le diffuseur officiel d'Alizé2[®], qui assure la gestion des licences et l'interlocuteur unique pour les souscrire.



Figure 2.2 - Fenêtre de gestion des licences

2.2 Configuration des paramètres généraux d'Alizé2[®]

En cliquant sur le bouton Configuration de la fenêtre d'accueil, Alizé2[®] propose un écran (Figure 2.3) permettant de personnaliser :

- la langue de l'interface ;
- le thème de couleurs ;
- le niveau de log ;
- 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.

Le niveau de log correspond à la quantité des informations qui sera ajoutée au fichier log généré par le logiciel. Afin de faciliter l'identification et résolution des anomalies, Alizé[®] écrit un fichier log dans le dossier d'installation indiquant les différentes procédures effectuées par le logiciel lors de son exécution. Ce paramètre est « Désactivé » par défaut (un fichier log n'est pas écrit) mais peut être modifié au niveau « Debug » (des informations détaillées sont écrites dans un fichier log). Ce fichier est local au PC, chiffré et n'est jamais partagé. Il est conseillé de laisser ce paramètre en mode « Désactivé » pour ne pas interférer avec la performance d'exécution.

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'Alizé[®].

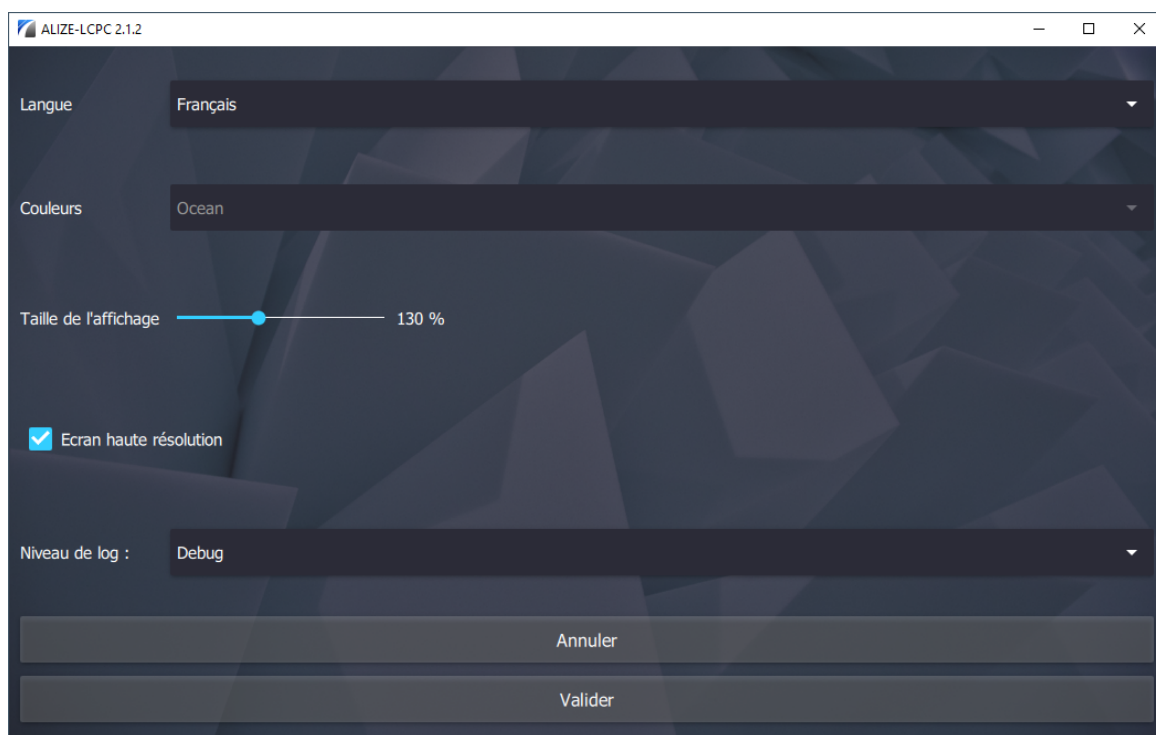


Figure 2.3 - Fenêtre de configuration des paramètres

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

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

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

2.3 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 2.4) ;
- 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 2.4, 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 ;
- 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.

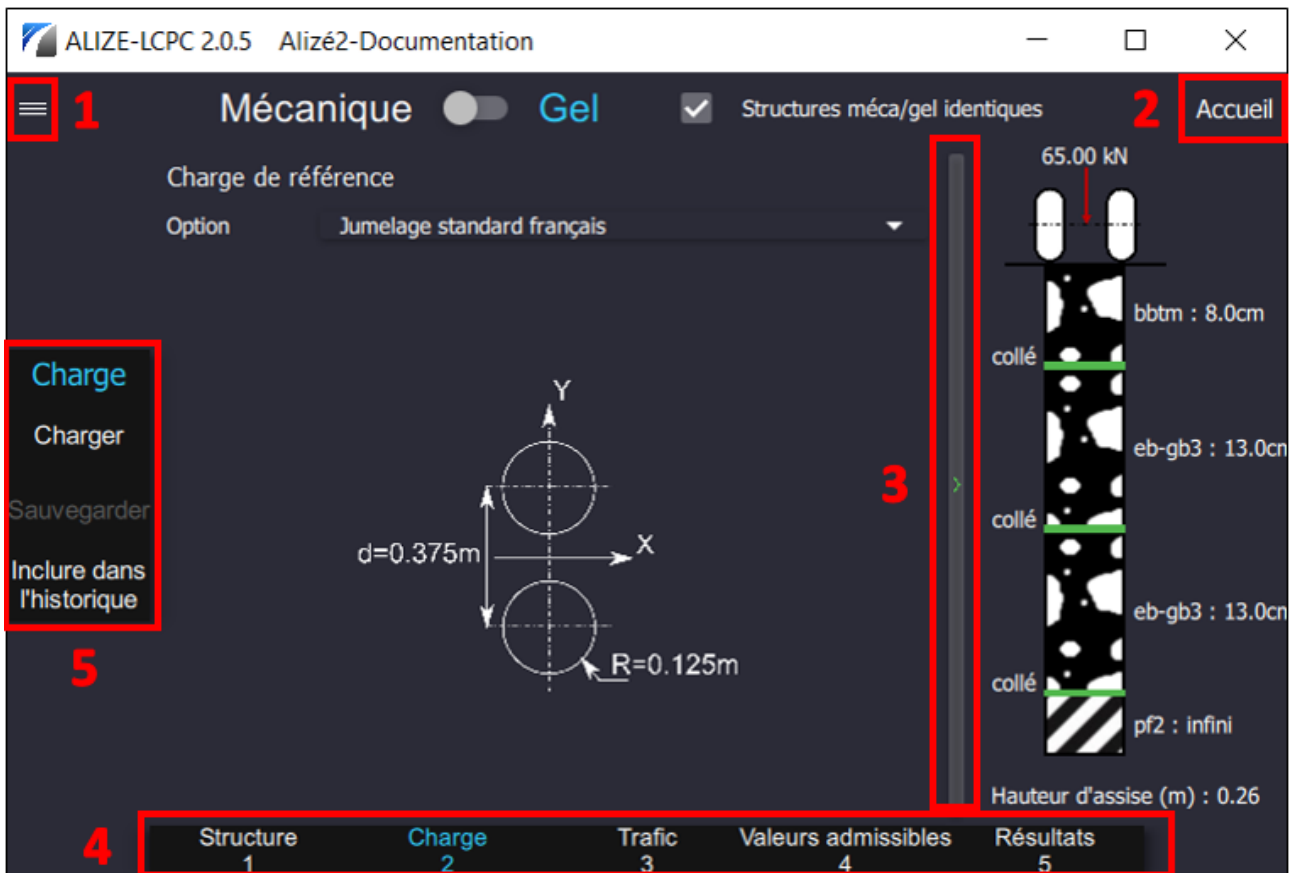


Figure 2.4 - Éléments généraux de navigation - exemple de l'onglet Charge pour un dimensionnement routier standard



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).

2.4 Gestion d'un projet

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

2.4.1 Création d'un nouveau projet


Une fois dans le module voulu, l'utilisateur doit cliquer sur le bouton  (Figure 2.5) :



Figure 2.5 - Fenêtre d'ouverture et de création de nouveau projet

La fenêtre suivante (Figure 2.6) permet de renseigner divers champs relatifs au projet et utilisés par la suite pour la génération du rapport mécanique (voir Section 3.3) :

L'avertissement permet à l'utilisateur d'attirer l'attention du destinataire du rapport sur



Figure 2.6 - Fenêtre de définition du nouveau projet

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.

2.4.2 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 2.7).

Une liste d'options s'ouvre. Il est possible (Figure 2.7) 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.

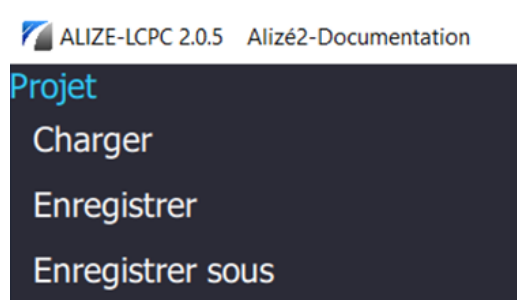


Figure 2.7 - Options du menu au sein du projet

2.4.3 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 2.7), 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 2.5).
- en cours d'utilisation d'Alizé2[®], il est également possible de passer par le menu Charger, depuis le module en cours d'utilisation (Figure 2.7).

2.4.4 Fermeture d'un projet

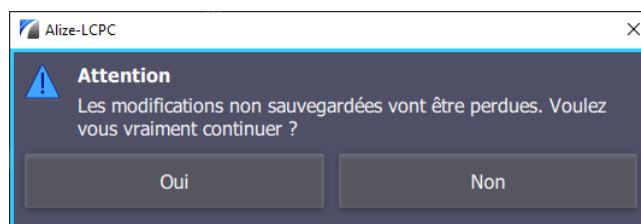


Figure 2.8 - Message d'avertissement avant la fermeture du projet

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

- soit en cliquant sur le bouton **Accueil**. Un message d'avertissement apparaît alors (Figure 2.8) :
- soit en fermant tout simplement la fenêtre Alizé2[®].

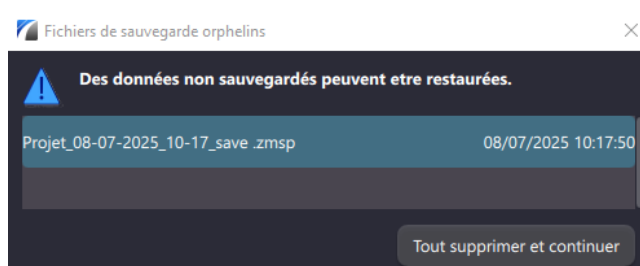


Figure 2.9 - Fenêtre de sélection des fichiers enregistrés automatiquement

2.4.5 Suppression d'un projet

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

2.4.6 Sauvegarde automatique

Alizé2® intègre un mécanisme de sauvegarde automatique conçu pour éviter toute perte de progression, notamment en cas d'oubli de sauvegarde manuelle ou d'interruption imprévue (plantage logiciel, arrêt du système, etc.).

Un fichier de sauvegarde temporaire est créé automatiquement dans le dossier d'enregistrement des données temporaires de l'application défini par Windows, utilisé également pour les fichiers de logs de l'application.

A l'ouverture d'un projet enregistré, si Alizé2® détecte une sauvegarde temporaire plus récente, une boîte de dialogue s'affiche pour proposer à l'utilisateur de restaurer cette dernière sauvegarde automatique.



Une sauvegarde automatique est créée même si le projet correspondant n'a jamais été enregistré. Dans ce cas, Alizé2® proposera de restaurer ou supprimer les sauvegardes détectées à l'ouverture d'un module (voir Figure 2.9). Pour restaurer une sauvegarde, il suffit de cliquer sur le nom correspondant dans la liste des sauvegardes automatiques affichée.

2.5 Inclusion dans l'historique

Il est possible d'enregistrer les sélections réalisées et les 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.

À 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 à l'emplacement des documents de l'utilisateur :

```
C:\Utilisateurs\
```

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 2.10 - 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 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 2.7).

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 3.1.5.

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.

3.1.3 Bibliothèques des structures

Cette bibliothèque permet de sélectionner une structure prédéfinie, en choisissant successivement (Figure 3.3) :

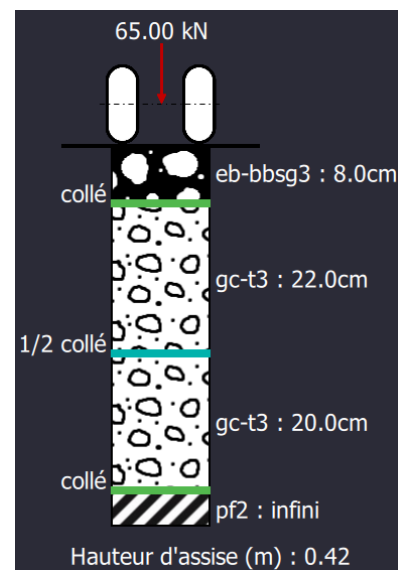


Figure 3.2 - Schéma de la structure étudiée et de sa charge

- 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

Chaque type de structure correspond à une fiche du catalogue des structures types de chaussées neuves du réseau routier national (1998). Chaque fiche est une grille croisant sept classes de trafic avec trois types de plateforme, pouvant ainsi définir théoriquement vingt-et-une structures.

En pratique, aucune grille n'est complète ; une fois la fiche sélectionnée dans la colonne gauche, la liste des structures affichées dans la colonne droite correspond aux structures de la grille définies pour le premier type de plateforme non vide et pour les classes de trafic correspondant à cette plateforme. 3.26

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 [4].

3.1.4 Bibliothèques 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 « système » intégrées au logiciel (Figure 3.4, deuxième **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 [5])
- la bibliothèque issue de la norme NF P98-086 de 2011 ;
- la bibliothèque issue de la norme NF P98-086 de 2019 [4].



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



Cette bibliothèque ne se base pas sur la bibliothèque de matériaux de la dernière norme NF P98-086 de 2019 [4].

L'utilisation de la bibliothèque de matériaux issus de la dernière norme en vigueur [4] 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**).

Statut	Nom	E (MPa)	nu	Epsi6 (10°C)	-1/b	SN	Kc	T =
system	bb	5400	0.35	100	5.0	0.25	1.10	
system	bbdr	3000	0.35	-	-	-	0.10	
system	bbme	9000	0.35	-	-	-	0.10	
system	gb1	7000	0.35	70	5.0	0.40	1.30	
system	gb2	9300	0.35	80	5.0	0.30	1.30	
system	gb3	9300	0.35	90	5.0	0.30	1.30	
system	gb4	11000	0.35	100	5.0	0.30	1.30	
system	eme1	14000	0.35	100	5.0	0.30	1.00	

Figure 3.4 - Caractéristiques des matériaux de la bibliothèque

Par ailleurs, l'option Charger un autre fichier (cadre rouge en haut à droite) permet d'importer un nouveau fichier de matériaux « utilisateur », à partir d'un fichier nécessitant une syntaxe bien définie dont la description est donnée dans l'annexe A1. Ce fichier peut contenir une ou plusieurs bibliothèques et leurs matériaux sont consultables de la même manière que les bibliothèques « système ».

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 en bas des propriétés, une fois le matériau sélectionné, ou 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 E . Dans la partie droite du tableau, la valeur de E est indiquée pour des valeurs de températures échelonnées et une fréquence constante de 10Hz.

3.1.5 Guides

Matériaux/Couches en contact	Interface
Surface / Base	
Surface / Base en sol traité	1/2 Collée
Autres cas	Collée
Base / Fondation	
Base / Fondation avec gcv-chaux	Glissante
Base / Fondation avec gc-t4	Glissante
Base / Fondation avec gl	Collée
Base / Fondation avec autres	1/2 Collée
Fondation / PF support	
Fondation / PF support	Collée

Figure 3.6 - Nature des interfaces selon les types de chaussées

► 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.).

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 [4], 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 (Trafic moyen journalier annuel (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.

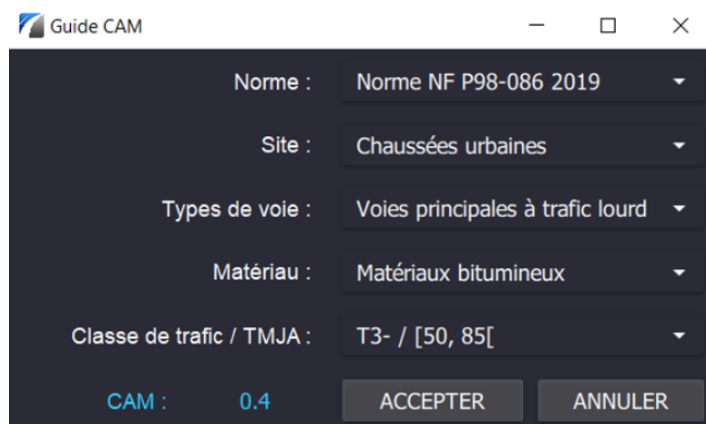
Giratoires	
TMJA	Demi-somme des trafics entrants si valeur supérieure au trafic de la voie entrante la plus chargée. Sinon, trafic de la voie entrante la plus chargée. Informatif. NF P98-086 2019, Section 1.2.2
CAM	CAM de la section courante. NF P98-086 2019, Section 2.4
Risque	5% au maximum. Indicatif. NF P98-086 2019, Section 3.3.2.5
Augmentation des épaisseurs	Matériaux d'assise / coeff. d'augmentation des épaisseurs : - Matériaux bitumineux / 15% des couches d'assise - Sols et sables traités aux liants hydrauliques / 15% des couches d'assise - Graves traitées aux liants hydrauliques / 10% des couches d'assise - Bétons / 10% de la couche de base NF P98-086 2019, Section 2.4

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[4].

► **Les guides CAM et Risque**

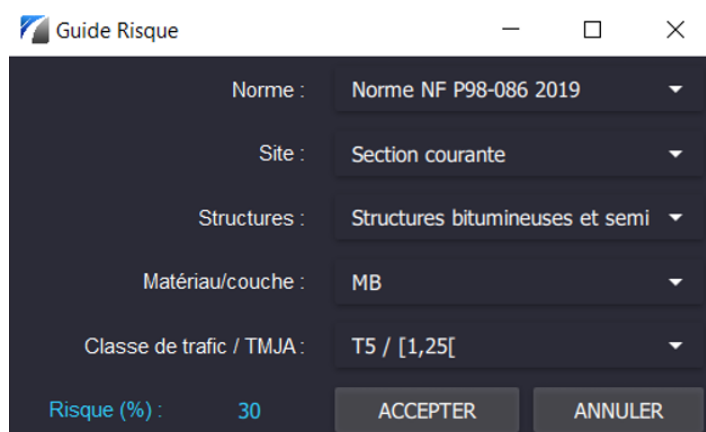
Les guides CAM et Risque, disponibles lors du calcul des valeurs admissibles, permettent respectivement la détermination du coefficient d'agressivité moyen (CAM) et la valeur du risque. Pour cela, l'utilisateur sélectionne les différentes options qui correspondent au dimensionnement en cours de la chaussée (Figure 3.8 et Figure 3.9)



Norme :	Norme NF P98-086 2019
Site :	Chaussées urbaines
Types de voie :	Voies principales à trafic lourd
Matériau :	Matériaux bitumineux
Classe de trafic / TMJA :	T3- / [50, 85[
CAM :	0.4
	ACCEPTER
	ANNULER

Figure 3.8 - Détermination du coefficient CAM

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. "



Norme :	Norme NF P98-086 2019
Site :	Section courante
Structures :	Structures bitumineuses et semi
Matériau/couche :	MB
Classe de trafic / TMJA :	T5 / [1,25[
Risque (%) :	30
	ACCEPTER
	ANNULER

Figure 3.9 - Détermination du risque



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.

3.1.6 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 2.4), 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 3.10) :

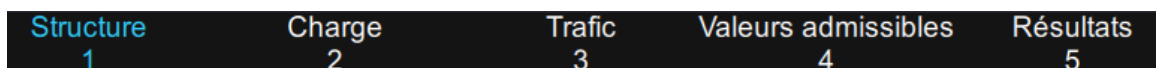


Figure 3.10 - Barre d'onglets du sous-module Standard - partie mécanique

3.2.1 Onglet Structure

Le premier onglet permet de définir la structure à dimensionner (Figure 3.11).

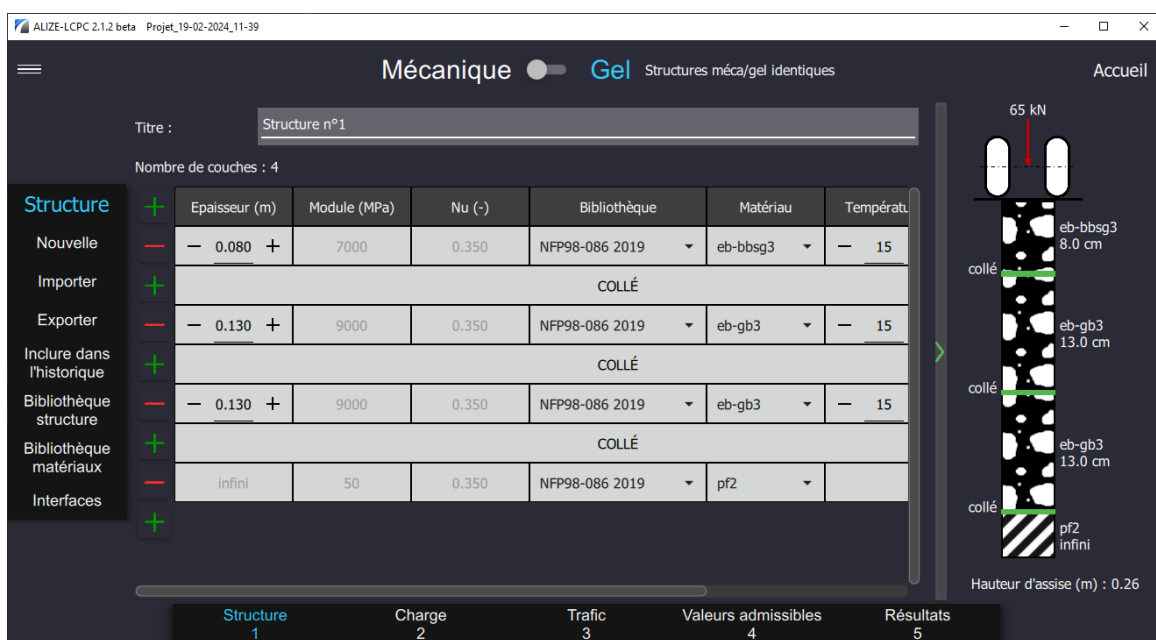


Figure 3.11 - Vue globale de l'onglet Structure

▷ Titre de la structure

L'utilisateur a la possibilité d'attribuer un titre à la structure (Figure 3.12) :

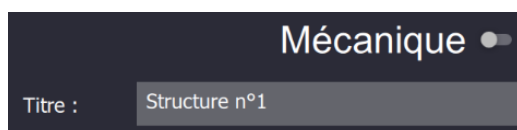
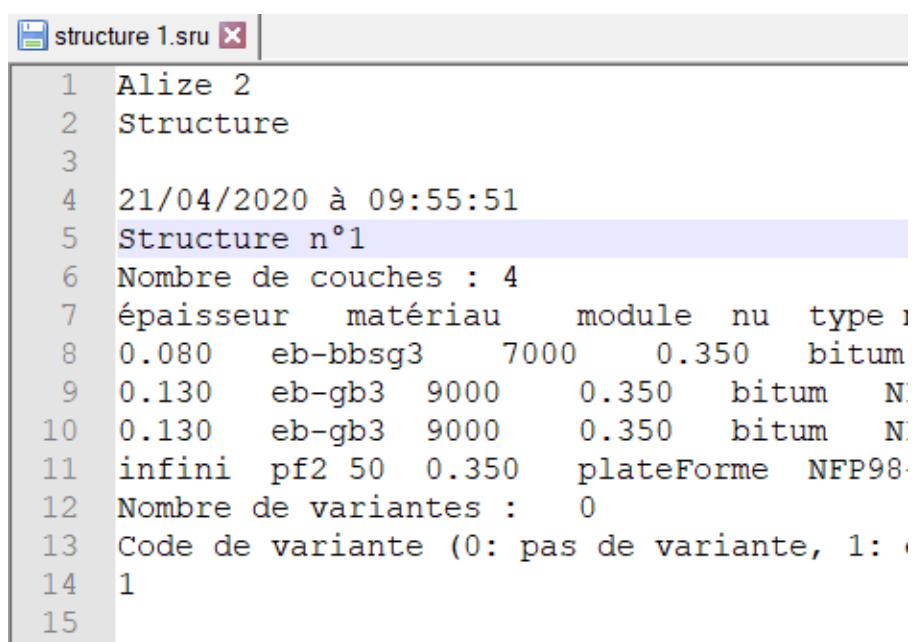


Figure 3.12 - Attribution d'un titre à la structure

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 3.13) ainsi que dans l'historique utilisateur et le rapport mécanique (voir Section 3.3) :



```
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 1
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 3.13 - 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 3.14) 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 3.14 - 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 3.15), 1 °C ou 1 Hz.

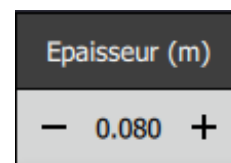


Figure 3.15 - Modification de l'épaisseur d'une couche

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.

Bibliothèque	Ma
autre	eb-bb
Catalogue 1998	
NFP98-086 2011	eb-g
NFP98-086 2019	
NFP98-086 2019 ▾	eb-g

Figure 3.16 - *Choix d'une bibliothèque de matériaux*

Quatre options, dont trois sont des bibliothèques de matériaux, sont proposées (Figure 3.16) :

- 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 [4] ;
- autre permet à l'utilisateur de définir un matériau hors bibliothèque.

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 [4], 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 3.17, cadre n°1) :

- les matériaux bitumineux ;
- les matériaux traités aux liants hydrauliques (Matériaux Traités aux Liants Hydrauliques (MTLH)) ;
- les bétons ;
- les graves non traitées et les sols (Grave Non Traitée (GNT)/Sols) ;

Matériau	
eb-bb	eb-bbme1
eb-bb	eb-bbme2
eb-bb	eb-bbme3
Bitum.	bbm
MTLH	bbtm
Bétons	bbdr
Gnt/Sols	acr
STLH	eb-gb2
pf2	eb-gb3

Figure 3.17 - *Choix d'une famille de matériaux et d'un matériau*

- les sols traités aux liants hydrauliques (Sols Traités aux Liants Hydrauliques (STLH)) ;

En cliquant sur la famille voulue, une liste de matériaux apparaît sur la droite (Figure 3.17, 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 3.18).

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 3.18). La nouvelle couche vient alors s'insérer sous l'interface concernée.

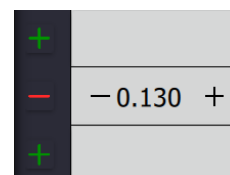


Figure 3.18 - Ajout et suppression d'une couche



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 3.19).

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.

COLLÉ
NFP98-086 2019
1/2 COLLÉ
NFP98-086 2019
GLISSANT

Figure 3.19 - Modification d'une interface



Pour plus de détails, se reporter à la norme NF P98-086 2019 [4], sections 3.1.20 à 3.1.23.



Une aide sur la nature des interfaces est également disponible dans Alizé2® (voir Section 3.1.5).

▷ 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).

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 3.20).

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).

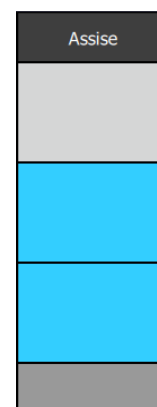


Figure 3.20 -
Affectation des
couches à l'assise

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.

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 ;
- **exporter** les caractéristiques de la structure en cours, au format Alizé2[®] et/ou Alizé 1.5 ;
- **importer** les différentes manipulations réalisées sur la structure dans un fichier texte par la fonction Inclure dans l'historique (voir Section 2.5) ;
- accéder à la **bibliothèque des structures** (voir Section 3.1.3) ;
- accéder à la **bibliothèque de matériaux** (voir Section 3.1.4) ;
- accéder au **guide des interfaces** (voir Section 3.1.5).

3.2.2 Onglet Charge

Le deuxième onglet permet de définir la charge s'appliquant à la structure à dimensionner (Figure 3.21).

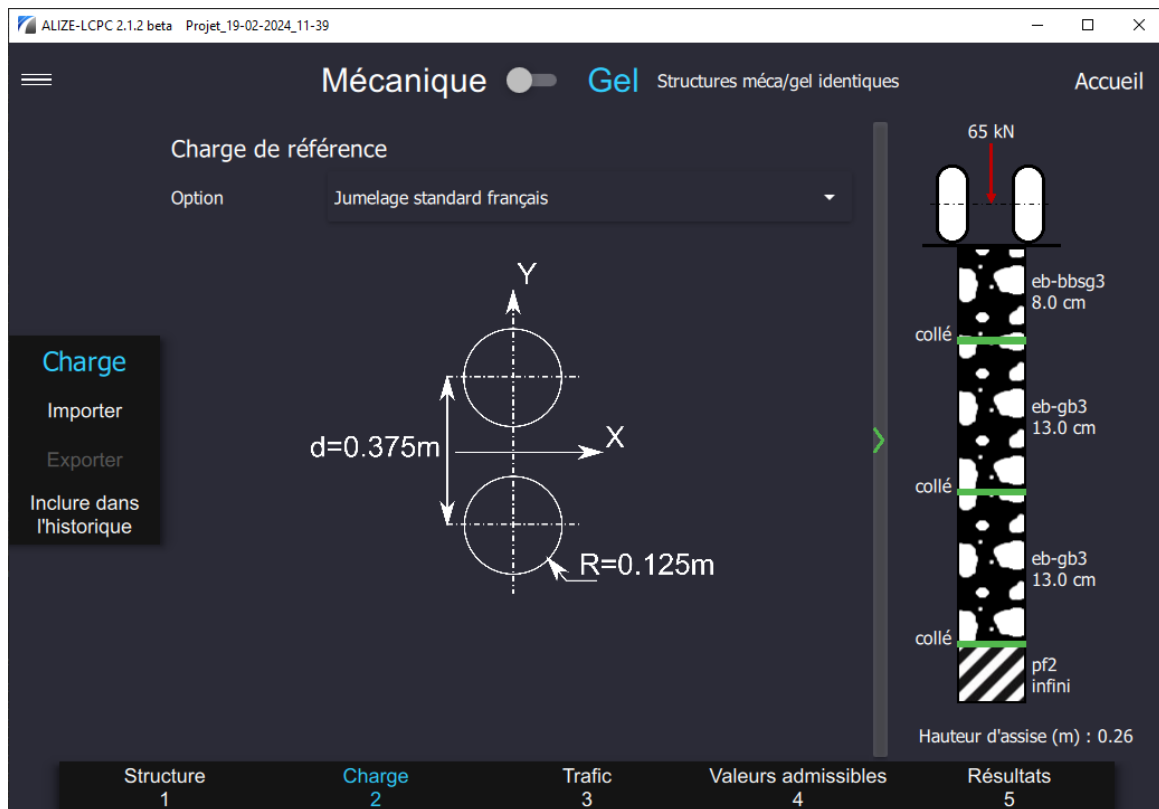


Figure 3.21 - Vue globale de l'onglet Charge

◆ Options de charge

Trois options de charges sont proposées :

- si l'utilisateur conserve le jumelage standard français (affiché par défaut et recommandé par la norme 2019 [4]), 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 (voir Figure 3.22) 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.

- 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 (voir Figure 3.23), 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.

▷ Menu vertical Charge

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

- faire le choix, via l'option Importer, d'une autre configuration de charge déjà enregistrée dans un fichier ;

Option	Autre jumelage
<input checked="" type="checkbox"/> rayon R (m) =	0.1250
<input type="checkbox"/> pression (MPa) =	0.6621
<input checked="" type="checkbox"/> poids/roue (kN) =	32.5000
entraxe d (m) =	0.3750

Figure 3.22 - Renseignant des paramètres dans le cas « Autre jumelage »

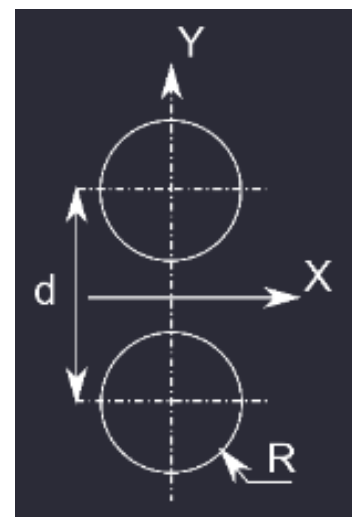


Figure 3.23 - Schéma d'un jumelage

- Exporter 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 2.5) ;



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 poids lourd - véhicule dont le poids total autorisé en charge (PTAC) est supérieur à 35 kN (PL) prévu auquel la structure à dimensionner sera soumise (Figure 3.24).

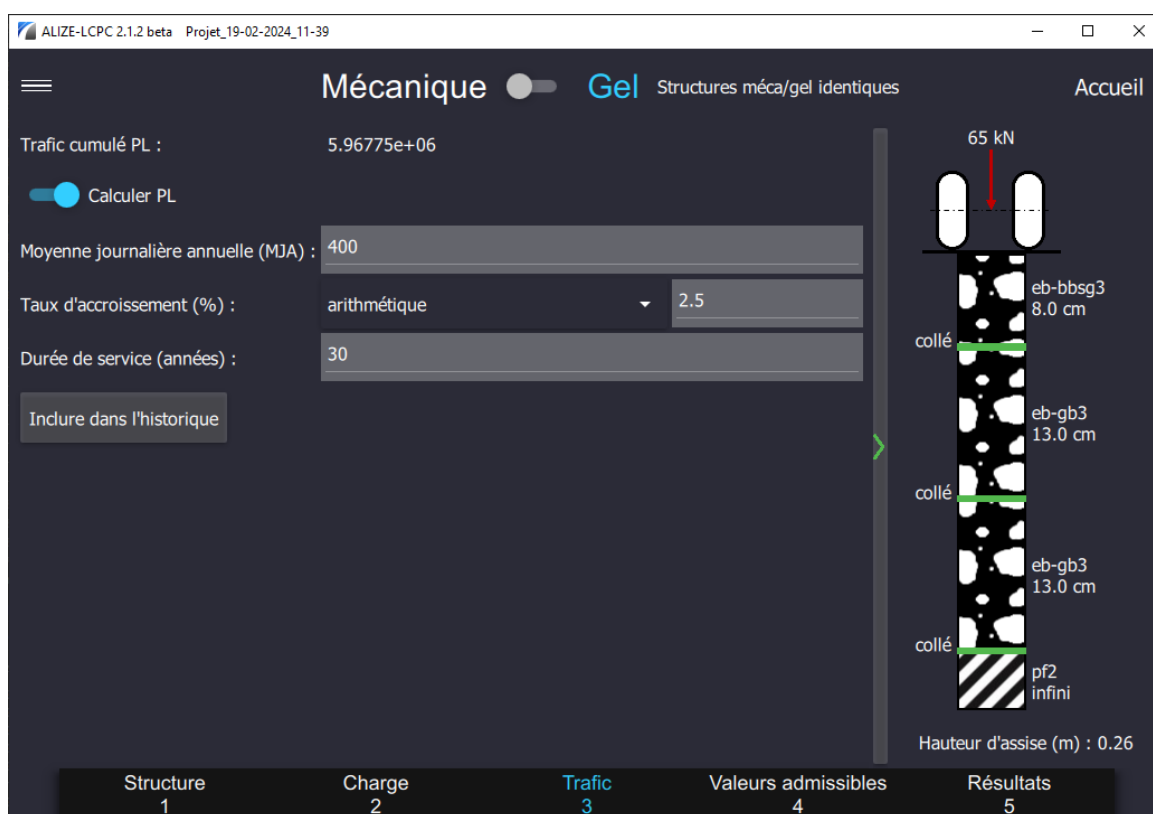
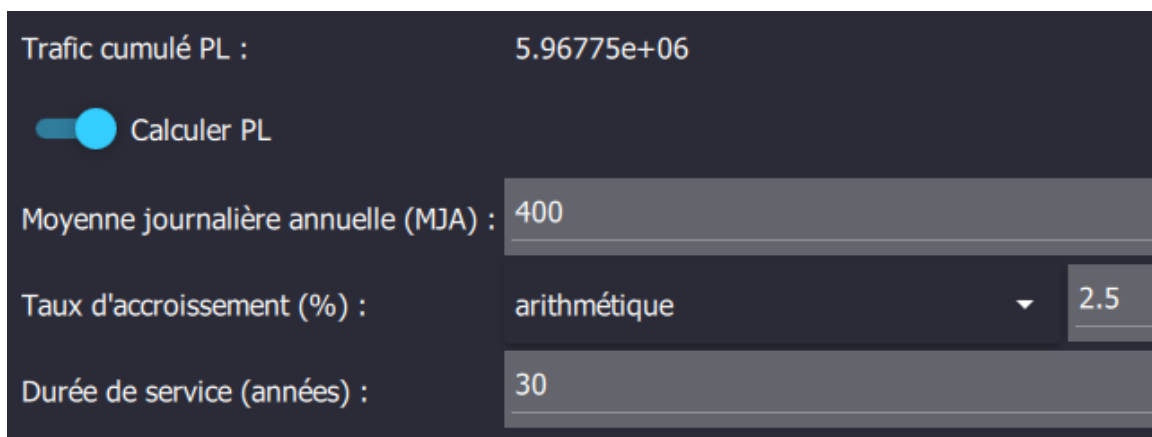


Figure 3.24 - Vue globale de l'onglet Trafic

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 3.25, 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.



The screenshot displays a dark-themed interface for calculating traffic. At the top, it shows the result: 'Trafic cumulé PL : 5.96775e+06'. Below this is a toggle switch labeled 'Calculer PL' which is turned on. The input fields are: 'Moyenne journalière annuelle (MJA) : 400', 'Taux d'accroissement (%) : arithmétique' (selected from a dropdown menu) with a value of '2.5' shown in a separate box, and 'Durée de service (années) : 30'.

Figure 3.25 - 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 2.5).

3.2.4 Onglet Valeurs admissibles

Le quatrième onglet permet de calculer les valeurs admissibles pour chaque couche de la structure étudiée (Figure 3.26).

En haut à gauche, une zone de commentaire libre peut servir à mémoriser toute information utile, notamment pour expliciter la démarche suivie (Figure 3.27) :

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 3.28) :

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 sélectionner dans le tableau en cochant la case correspondante ;



Figure 3.26 - Vue globale de l'onglet Valeurs admissibles

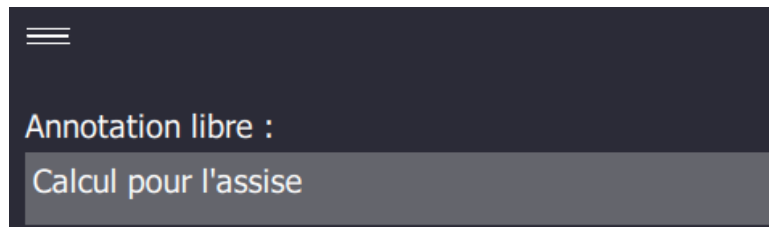


Figure 3.27 - Zone de saisie d'une annotation

- de renseigner les paramètres qui lui sont propres dans la partie droite de l'écran (Figure 3.29).

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 3.1.5). La valeur calculée s'affiche ensuite dans le champ correspondant de la Figure 3.29
- NE : en cochant la case associée 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.

	Couche	Critère	Valeurs
<input type="checkbox"/>	eb-bbsg3	$\epsilon_T (\mu)$	
<input type="checkbox"/>	eb-gb4	$\epsilon_T (\mu)$	
<input type="checkbox"/>	eb-gb3	$\epsilon_T (\mu)$	
<input type="checkbox"/>	pf2	$\epsilon_Z (\mu)$	

Figure 3.28 - Tableau de sélection des couches à soumettre à un calcul de valeurs admissibles

coefficient CAM : 0.8 guides

trafic équivalent NE : 4774200 NE(PL,CAM)

risque (%) : — 30.0 + guides

$\epsilon_6 (\mu)$: 90

-1/b : 5

E(10°C, 10Hz) (MPa) : 11880

E(15°C, 10Hz) (MPa) : 9000

H_assise (m) : 0.26

S_h : 0.025

S_n : 0.3

Figure 3.29 - Tableau des paramètres de calcul des VA

► 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 3.1.5). La valeur calculée s'affiche ensuite dans le champ correspondant de la Figure 3.29;



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 ;
- $l'S_N$;
- k_c le coefficient de calage.

Le coefficient de risque k_r sera calculé et affiché en même temps que les valeurs admissibles. L'utilisateur doit enfin renseigner le k_s (Figure 3.30) :

○ 1/1.2 si $E_{sj} < 50$

○ 1/1.1 si $E_{sj} \in [50, 80[$

Ks : ○ 1/1.065 si $E_{sj} \in [80, 120[$

○ 1 si $E_{sj} \geq 120$

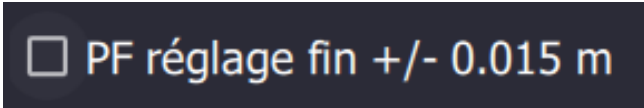
● Autre 0

Figure 3.30 - Détermination du coefficient k_s

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 3.31) 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 :



PF réglage fin +/- 0.015 m

Figure 3.31 - 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 [4] ou au guide technique [5].

Préparation du calcul dans le cas du critère σ_t

De la même manière que dans le cas du critère εT , 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 ;
- $1/k_d$ où k_d 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 [4] 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 3.28), 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 2.5).



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 3.32) :

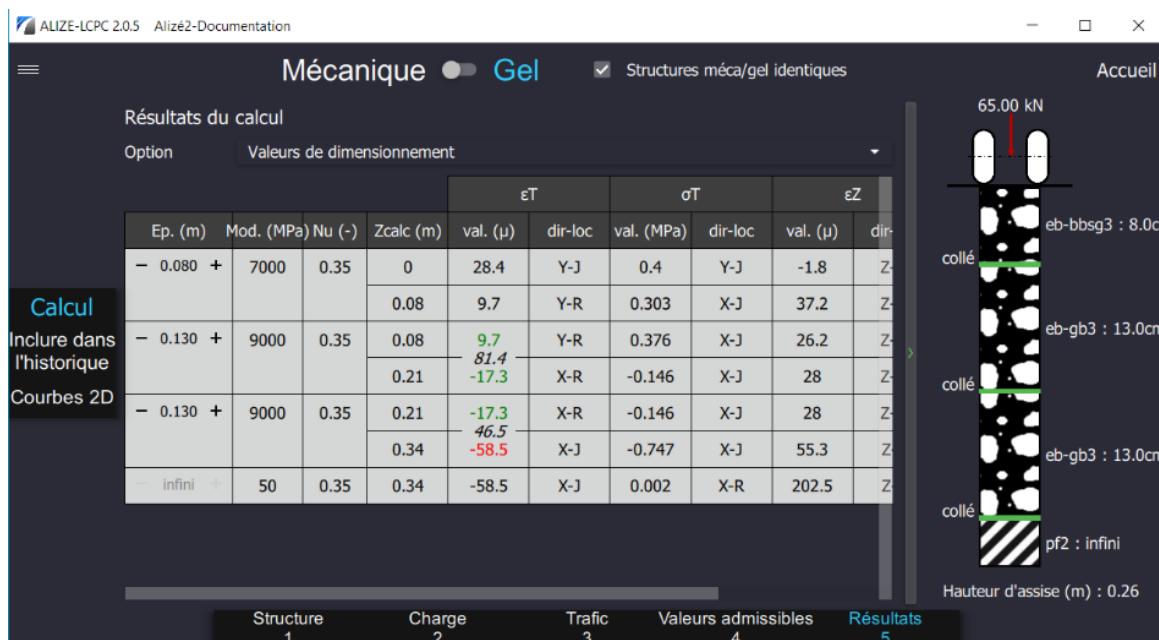


Figure 3.32 - Vue globale de l'onglet Résultats

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 3.33) :

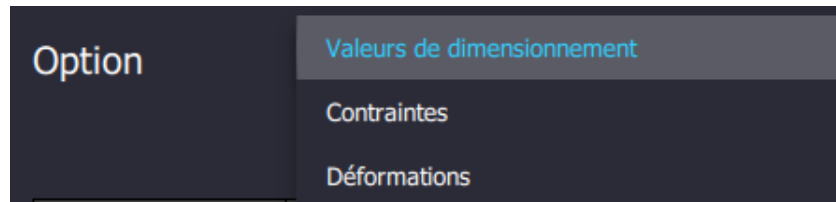


Figure 3.33 - Choix de l'option de présentation des résultats

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 de 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 Z_{calc} (m) indique la profondeur depuis la surface de la chaussée.

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

Enfin, les deux dernières colonnes ε_z et σ_z 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 ($\epsilon_t, \sigma_t, \epsilon_z, \sigma_z$) est exprimé sur deux colonnes (Figure 3.34), 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 et 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.

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 -.

ϵ_T	
val. (μ)	dir-loc
28.4	Y-J
9.7	Y-R
9.7	Y-R
<i>81.4</i>	
-17.3	X-R
-17.3	X-R
<i>46.5</i>	
-58.5	X-J

Figure 3.34 - Valeurs minimales de déformation ϵ_T , valeurs admissibles, direction et localisation du calcul pour les trois couches supérieures.

 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 3.33), un nouveau champ intitulé Profil apparaît juste en-dessous (Figure 3.35) :

▷ **Courbes 2D**

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

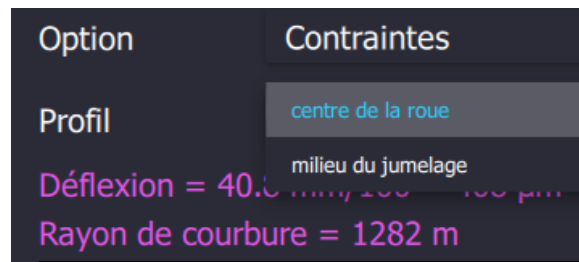


Figure 3.35 - Choix du profil pour le calcul des valeurs de contraintes.

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.

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 3.36) :

▸ 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).

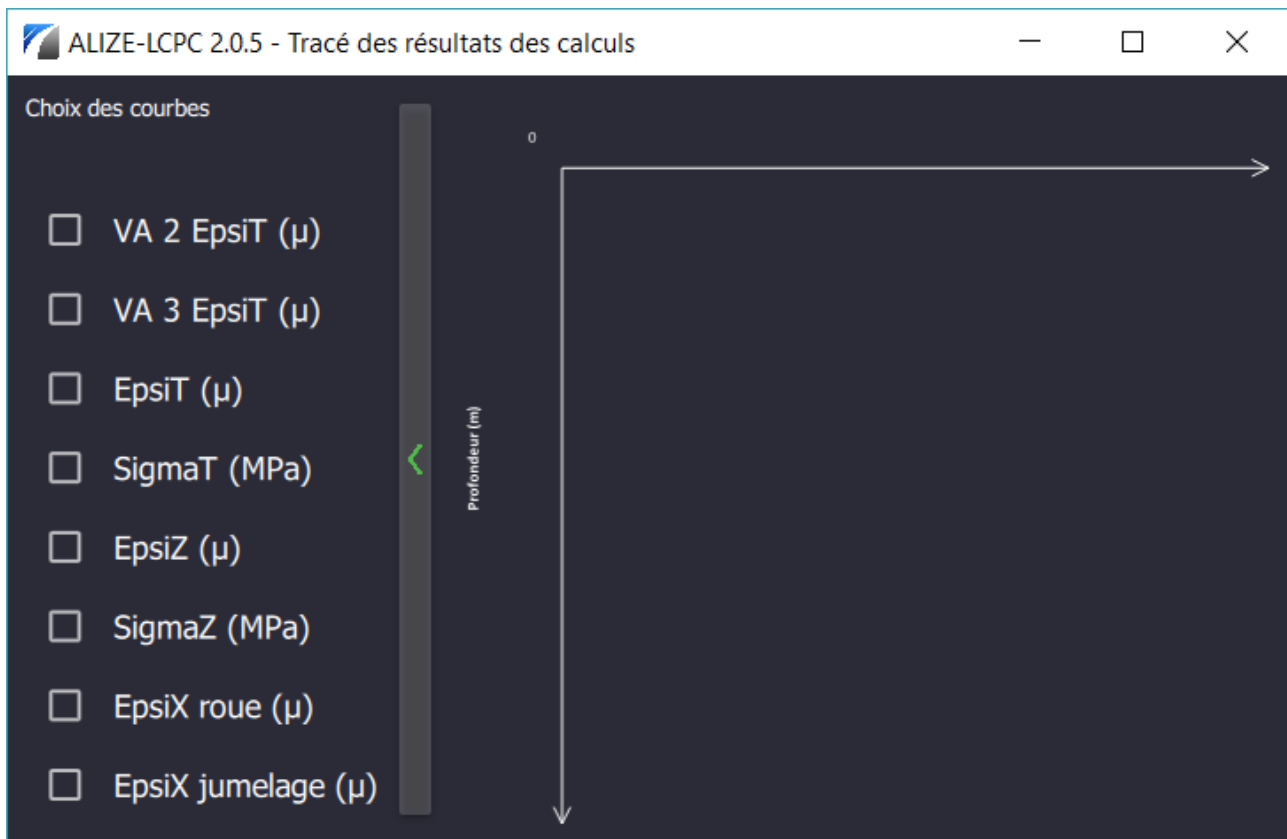


Figure 3.36 - Fenêtre initiale d'affichage des courbes 2D.

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 ε_t .

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 3.37) :

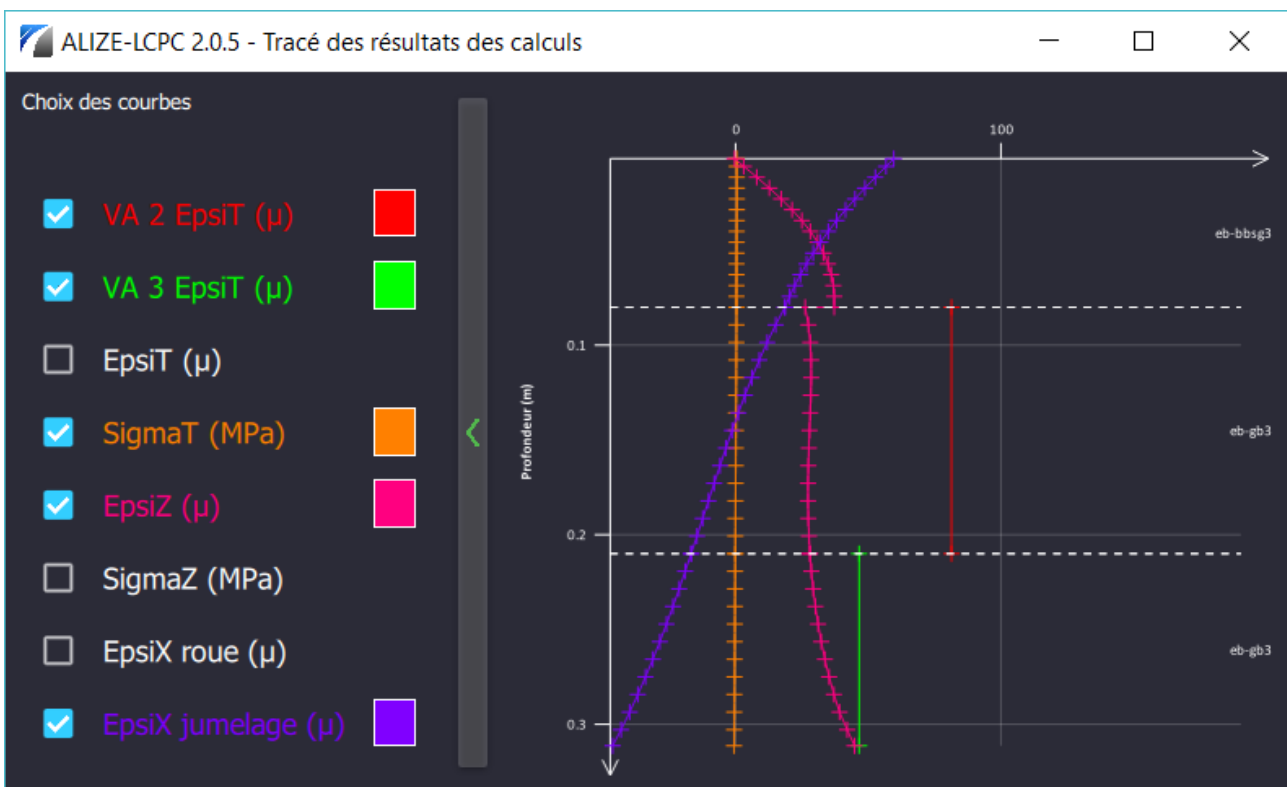


Figure 3.37 - Affichage des courbes de résultats et des valeurs admissibles.

► 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 3.38) :



Figure 3.38 - 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 rec-

tangulaire 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.

3.3 Rapport mécanique

Le menu Projet de l'onglet Résultats comporte une nouvelle option Rapport mécanique (Figure 3.39), permettant de générer un document de synthèse.

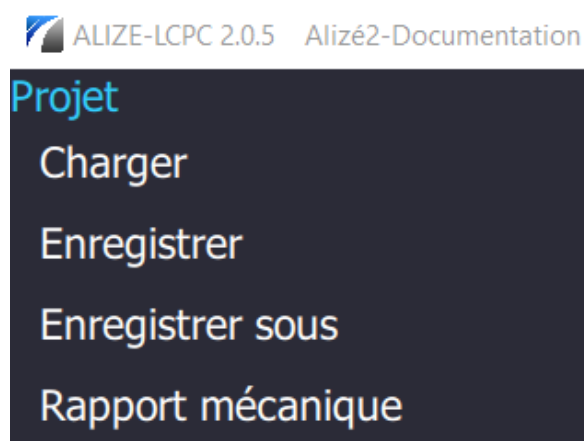


Figure 3.39 - Accès au rapport mécanique via le menu Projet.

Une fenêtre permet de personnaliser ce rapport (Figure 3.40), en proposant à l'utilisateur de choisir les options et les résultats qu'il souhaite y intégrer.

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 ;
- un auteur ;
- une description de l'étude ;
- un avertissement ou une observation concernant l'étude ;

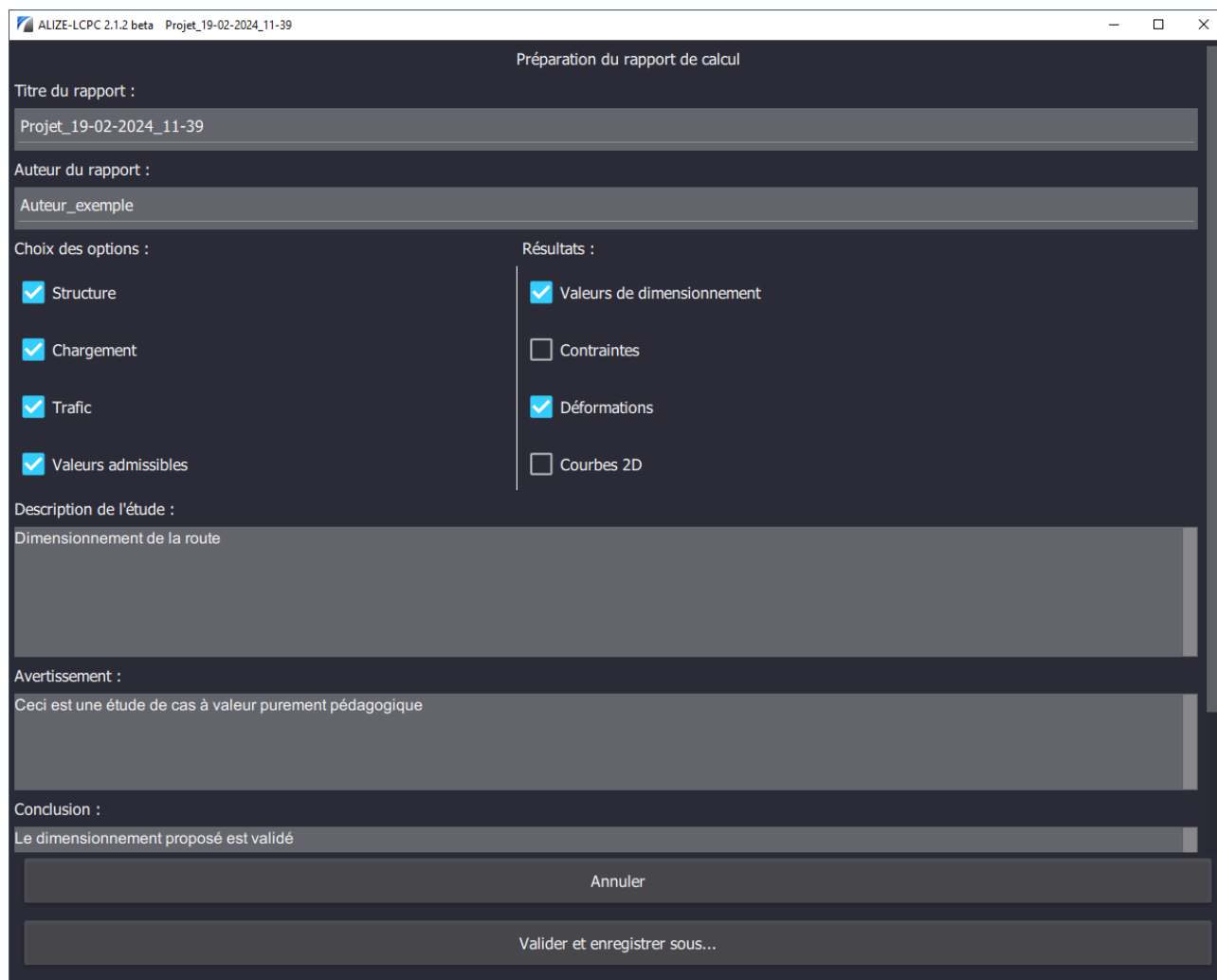


Figure 3.40 - Paramétrage du rapport mécanique.

- 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:...

- Si l'utilisateur a coché Structure, les données issues de l'onglet Structure et intégrées dans le rapport (Figure 3.41) 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 3.41 - 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 3.42) 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.
- Si l'utilisateur a coché Trafic, les données issues de l'onglet Trafic et intégrées dans le rapport (Figure 3.43) sont :
 - le trafic cumulé PL ;
 - et dans le cas où ce trafic cumulé PL a été calculé :
 - la moyenne journalière annuelle ;

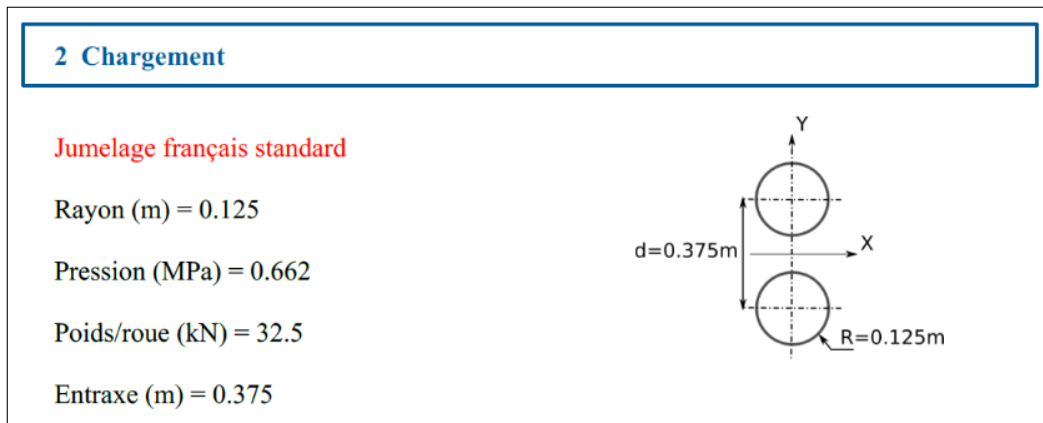


Figure 3.42 - Exemple de partie du rapport mécanique liée à l'onglet Charge.

- le type de taux d'accroissement (arithmétique ou géométrique) et sa valeur ;
- la durée de service.

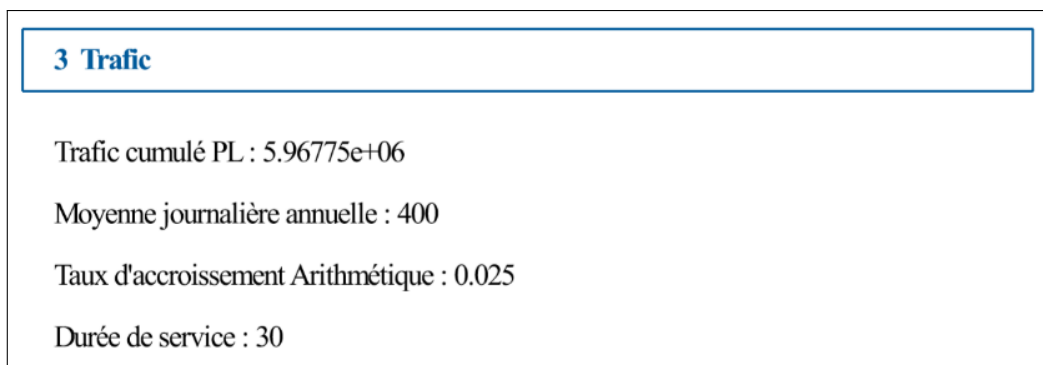


Figure 3.43 - Exemple de partie du rapport mécanique liée à l'onglet Trafic.

- Si l'utilisateur a coché Valeurs admissibles, les données issues de l'onglet Valeurs admissibles et intégrées dans le rapport (Figure 3.44) sont :
 - le tableau récapitulatif des valeurs admissibles calculées, avec le critère associé ;
 - l'ensemble des valeurs ayant servi au calcul pour chaque couche.
- 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 3.41).

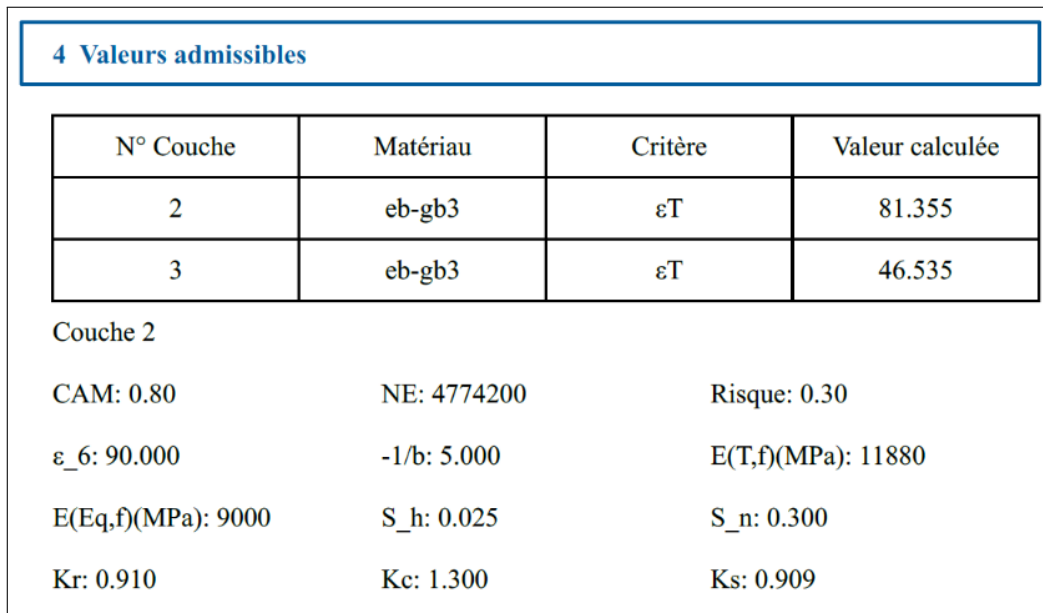


Figure 3.44 - Exemple de partie du rapport mécanique liée à l'onglet Valeurs admissibles.



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

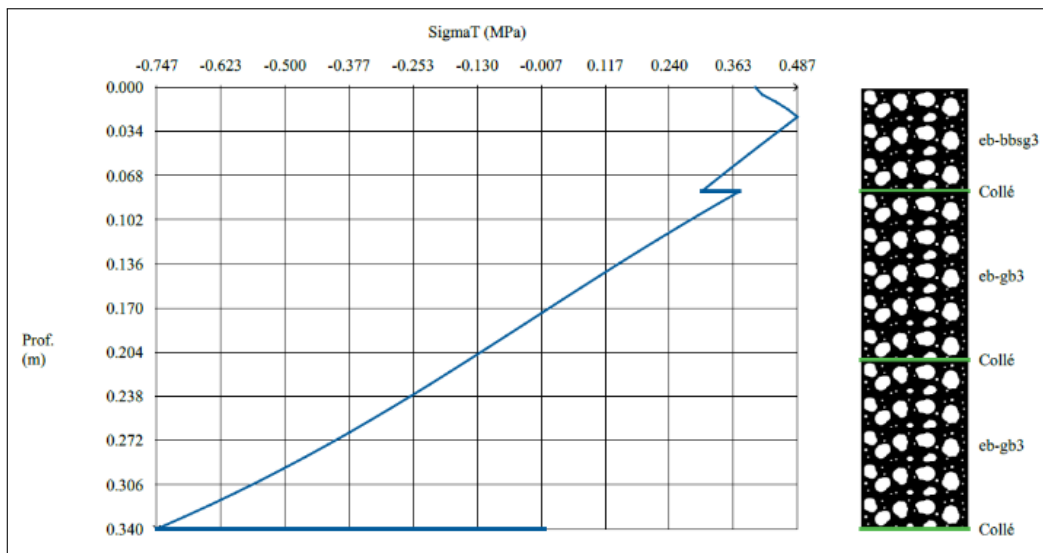


Figure 3.45 - Exemple de partie du rapport mécanique liée aux courbes 2D.

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 Section 3);
- 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) :

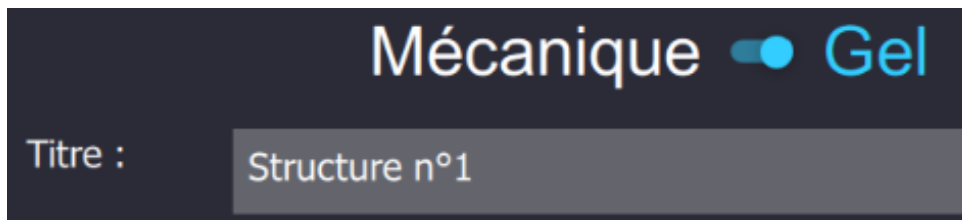


Figure 4.1 - Commutateur Mécanique-Gel et titre de la structure.



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 3.12).

▷ 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) :

- 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.

Structure	Conditions météo	Qpf	Vérification
1	2	3	4

Figure 4.2 - Barre d'onglets du sous-module Standard - partie vérification au gel.

▷ **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.

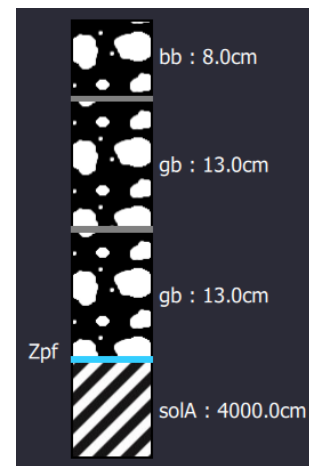


Figure 4.3 - Schéma de la structure gel.

► **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 ($Z_{base} = Z_{pf} + 40$ 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 Z_{pf} 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.

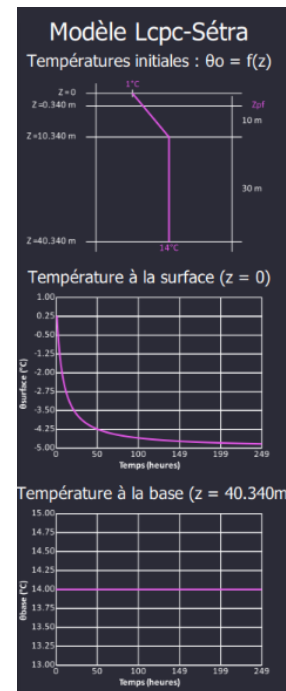


Figure 4.4 - Courbes de températures du modèle LCPC-Setra.

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) :

► **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 ;
- le facteur λ_{ng} de conductivité thermique à l’état non gelé ;
- et le facteur λ_g de conductivité thermique à l’état gelé.

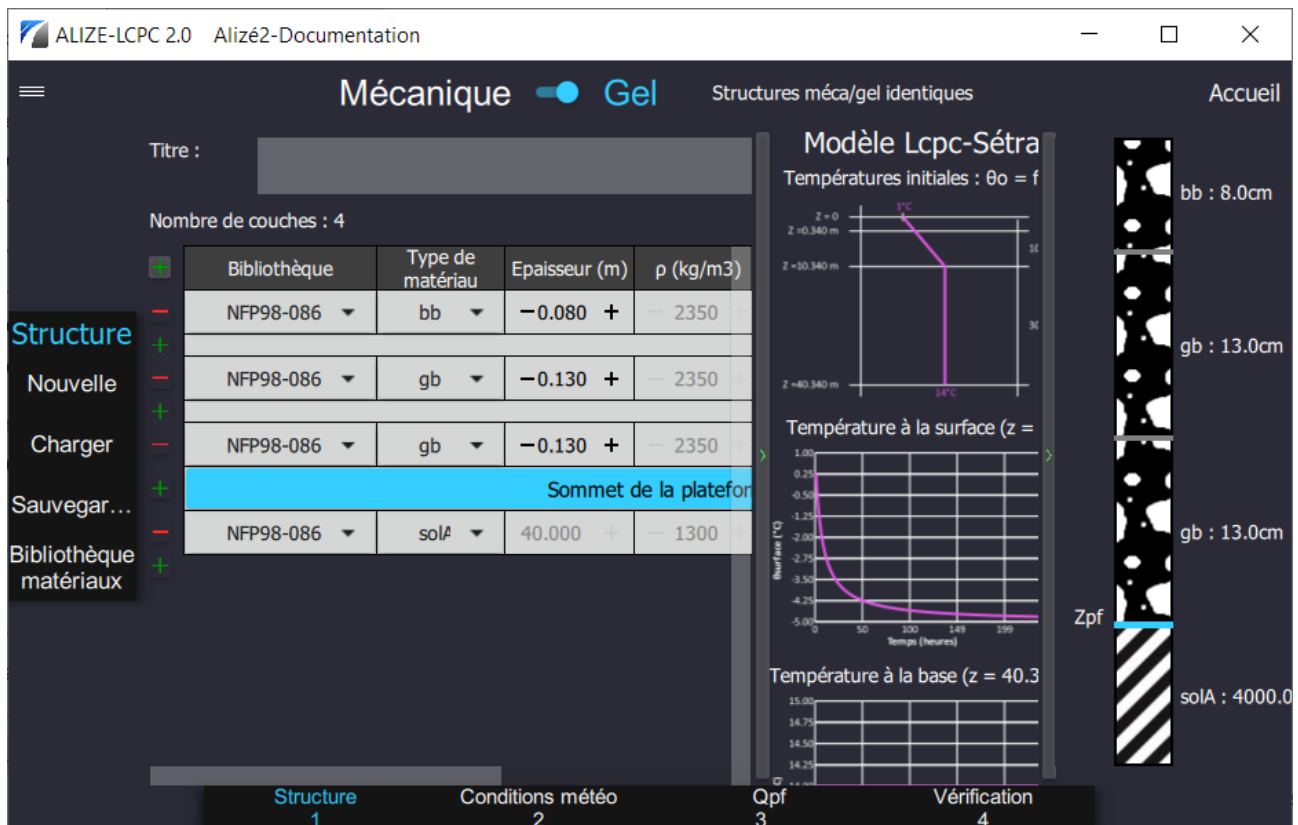


Figure 4.5 - Vue globale de l'onglet Structure gel.

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 3.1.4).

◆ 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).

	Bibliothèque	Type de matériau	Epaisseur (m)	ρ (kg/m ³)	W (%)	λ_{ng} (W/m.°C)	λ_g (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

◆ 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).

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).

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) :

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.

Statut	matériaux	ρ (kg/m ³)	W (%)	λ_{ng} (W/m.°C)	λ_g (W/m.°C)
System	bb	2350	1	2	2.1
System	gb	2350	1	1.9	1.9
	eb-gb2				
	eb-gb3				
	eb-gb4				
System	eme	2390	1	2.35	2.4
System	sb	1990	5.5	1.5	1.7

Bitumineux Traités aux liants hydrauliques Béton Gnt et sols

Figure 4.7 - Bibliothèque des matériaux - 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 la et de choisir ou saisir un indice de gel de référence Ir (Figure 4.8) :



Dans Alizé2®, I_{Atm} est la valeur d'indice de gel atmosphérique, la est la valeur d'indice de gel atmosphérique admissible.

► Calcul de la

Le calcul de la dépend, entre autres, du coefficient K_{cr} et de la localisation (en termes de taille de population) de la chaussée à dimensionner (Figure 4.9) :

Selon le choix opéré par l'utilisateur pour la localisation (cadre rouge), la formule de calcul



Figure 4.8 - Vue globale de l'onglet Conditions météo

de la 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 [4], section 6.2.4.

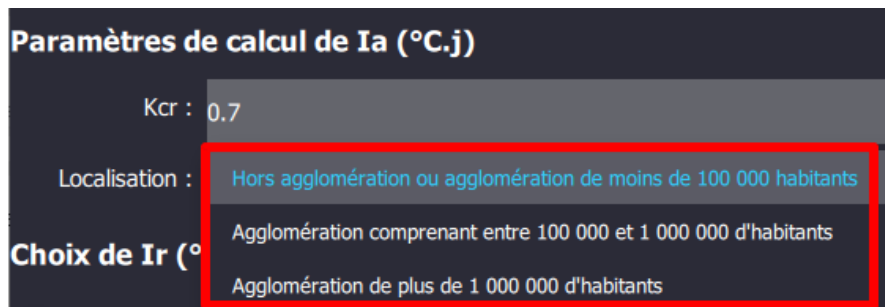
▷ Choix de Ir

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.



Paramètres de calcul de I_a (°C.j)

Kcr : 0.7

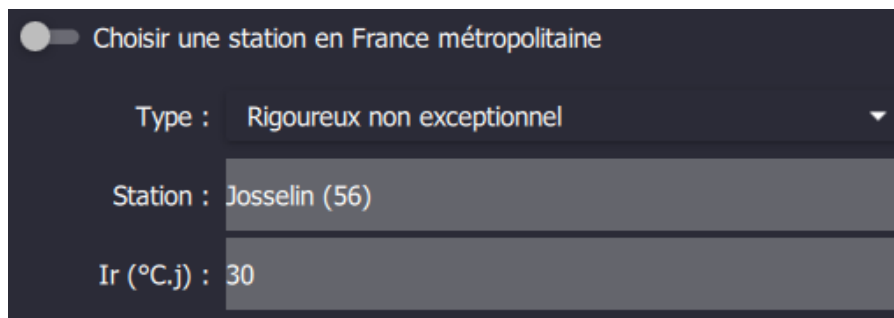
Localisation : Hors agglomération ou agglomération de moins de 100 000 habitants

Choix de I_r (°C.j)

Agglomération comprenant entre 100 000 et 1 000 000 d'habitants

Agglomération de plus de 1 000 000 d'habitants

Figure 4.9 - Paramètres de calcul de I_a



Choisir une station en France métropolitaine

Type : Rigoureux non exceptionnel

Station : Josselin (56)

I_r (°C.j) : 30

Figure 4.10 - Définition par l'utilisateur de I_r

◆ 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) :

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 I_r 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) :

Choisir une station en France métropolitaine

Type : Rigoureux non exceptionnel

Département	Station	Ir exceptionnel	Ir rigoureux
35	Rennes	80	35
36	Châteauroux	155	75
37	Tours	120	75
38	Grenoble	170	145
40	Mont-de-Marsan	100	40

Ir (°C.j) = 75

Figure 4.11 - Choix d'une station pour la définition de I_r .

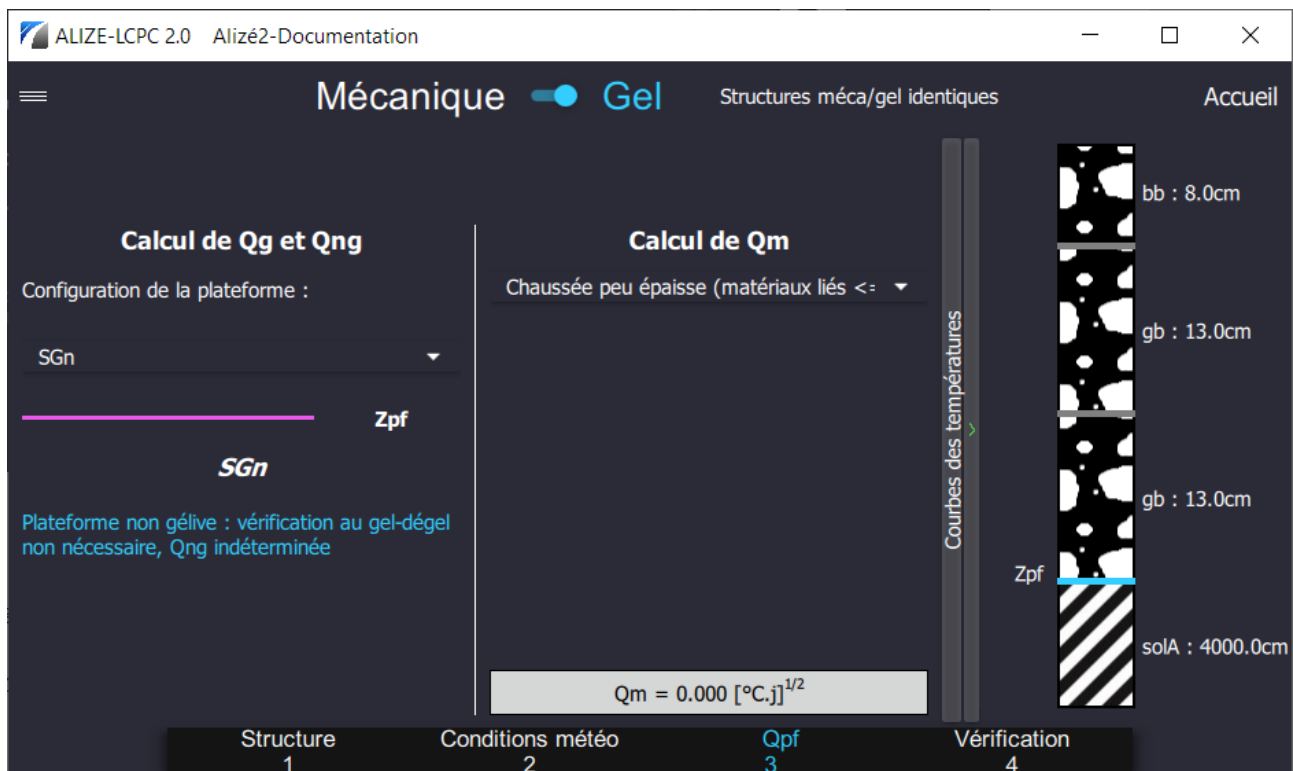


Figure 4.12 - Vue globale de l'onglet Qpf

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

- la partie de gauche permet le calcul des quantités de gel admissibles Q_g pour les matériaux gélifs et Q_{ng} pour les matériaux non gélifs ;
- la partie de droite permet le calcul de la quantité de gel mécanique Q_m .

▷ 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) :

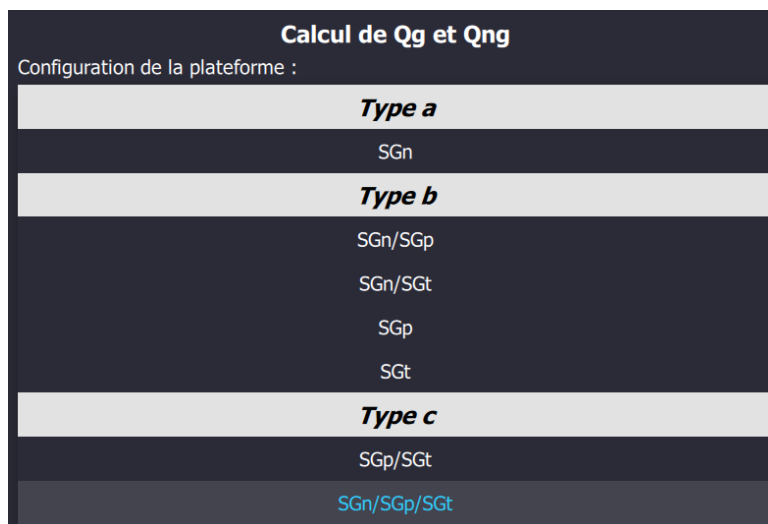


Figure 4.13 - Sélection de la configuration de la plateforme



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 [4], 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 h_n ;
- 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 4.16a), l'utilisateur doit renseigner :

- la hauteur h_p ;
- 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 A_p est calculé automatiquement par Alizé2® en fonction de la classification du matériau.

(a) Paramétrage SGp/SGt

(b) Paramétrage SGn/SGp/SGt

Figure 4.16 - Configurations SGp/SGt et SGn/SGp/SGt

Dans le cas SGn/SGp/SGt (Figure 4.16b), l'utilisateur doit renseigner en plus :

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



Les informations complètes relatives aux coefficients A_n , A_p et à la pente p de l'essai de gonflement au gel sont fournies dans la norme NF P98-086 2019 [4], 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 Q_{ng} et de Q_g qu'Alizé2® a calculées automatiquement (Figure 4.17) :

The screenshot shows two lines of text in a light gray box with a black border. The first line displays the equation $Q_{ng} = 5.833 [^{\circ}\text{C}\cdot\text{j}]^{1/2}$. The second line displays the equation $Q_g = 4.000 [^{\circ}\text{C}\cdot\text{j}]^{1/2}$.

Figure 4.17 - Affichage des résultats du calcul de Q_{ng} et de Q_g

► Calcul de Q_m

Le calcul de la quantité de gel mécanique Q_m 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 4.18) :

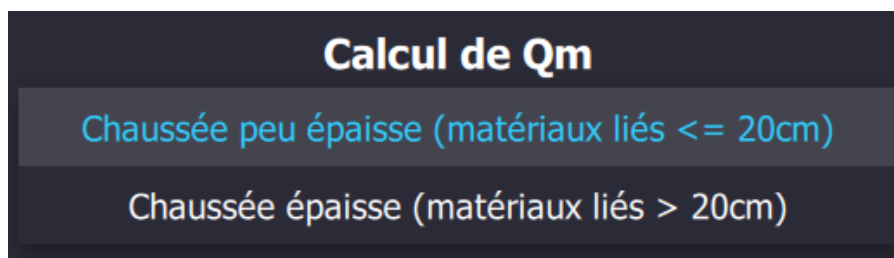


Figure 4.18 - Choix de la configuration de chaussée pour le calcul de Q_m

◆ 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, Q_m 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.

o En cas de saisie directe de l'épaisseur e , Q_m est calculé instantanément et vaut dix fois e .

o En cas de calcul de l'épaisseur e par Alizé2®, l'utilisateur doit basculer le commutateur

vers la droite (Figure 4.19) 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 4.19) dont la dernière ligne est retenue pour le calcul de Q_m .

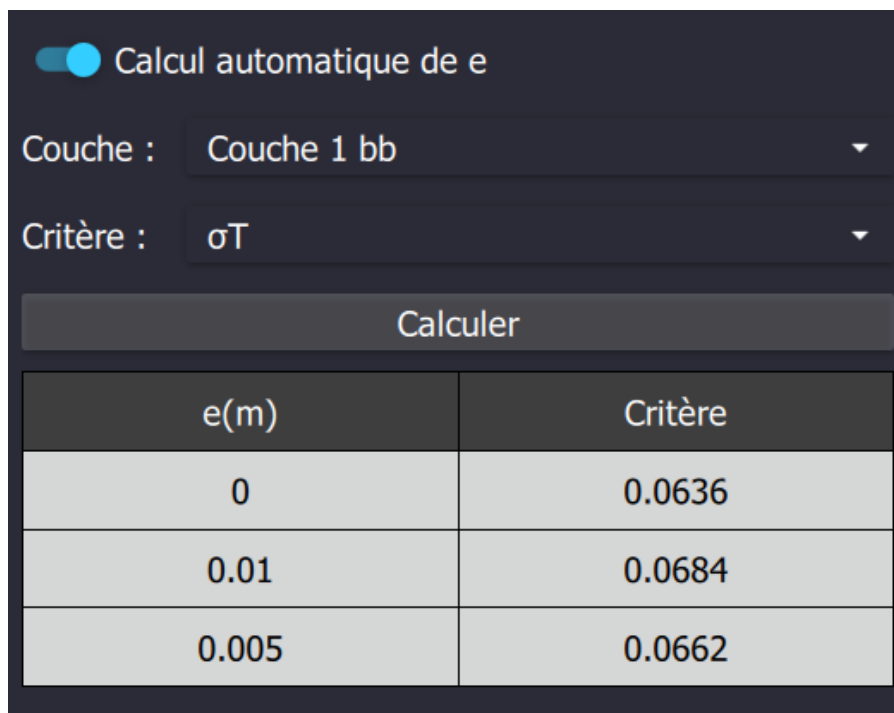


Figure 4.19 - Calcul de e selon la couche et le critère sélectionnés

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

$$Q_m = 0.010 [^{\circ}\text{C}\cdot\text{j}]^{1/2}$$

Figure 4.20 - Affichage du résultat du calcul de Q_m

▷ **Calcul de Q_{pf}**

Pour la configuration Type a - SGn, aucun calcul de la quantité de gel Q_{pf} n'est réalisé.

Pour les autres configurations, la quantité de gel Q_{pf} admissible au niveau de la plate-

forme support de chaussée est la somme des quantités Q_g , Q_{ng} et Q_m calculées précédemment. Sa valeur s'affiche et s'actualise automatiquement en haut de la fenêtre (Figure 4.21) :

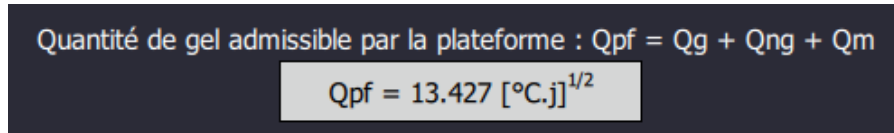


Figure 4.21 - Affichage du calcul de Q_{pf}

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 I_a .

La comparaison de I_a avec l'indice de référence I_r 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 4.22) :

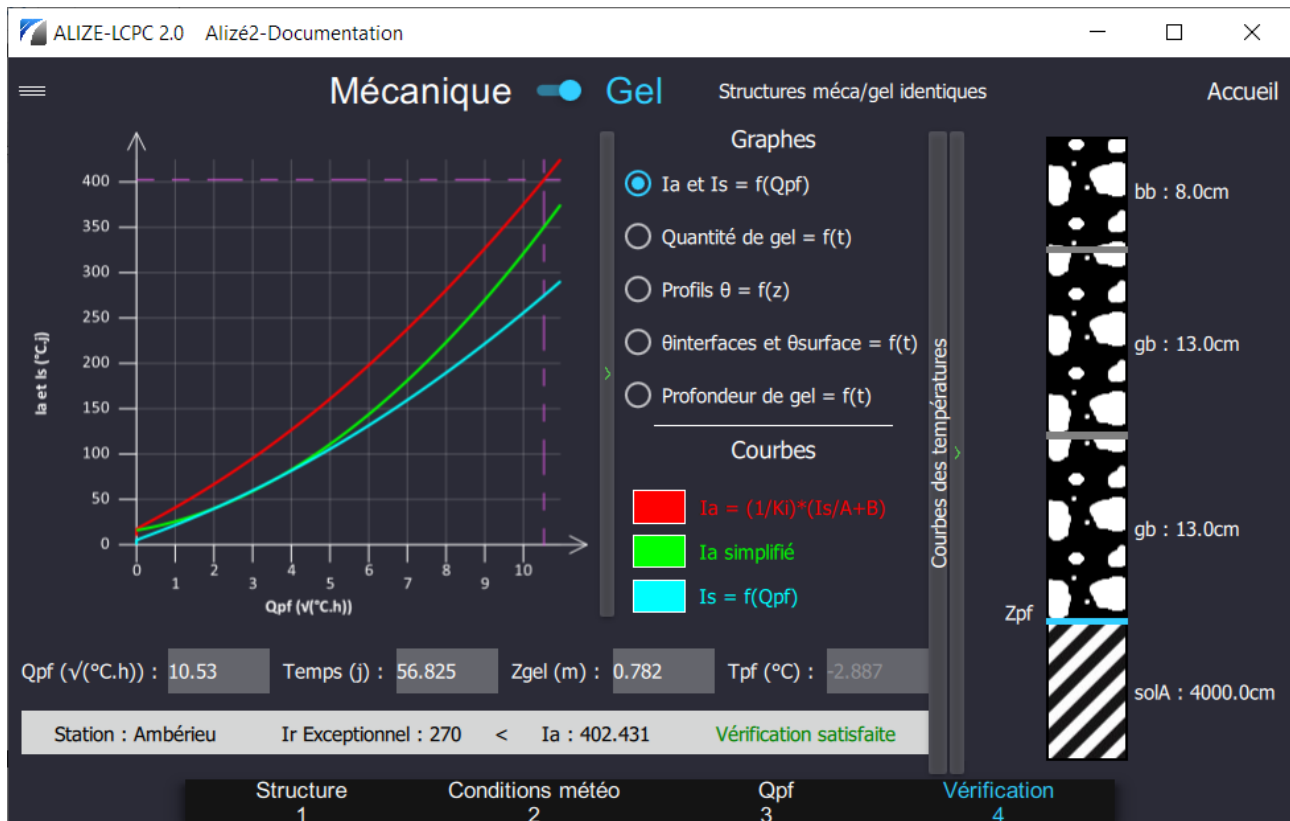


Figure 4.22 - Vue globale de l'onglet Vérification

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 la et en surface de chaussée Is en fonction de la quantité de gel transmise à la plateforme**

Sur la Figure 4.23 ci-dessus :

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

La courbe verte donne les valeurs de la 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.

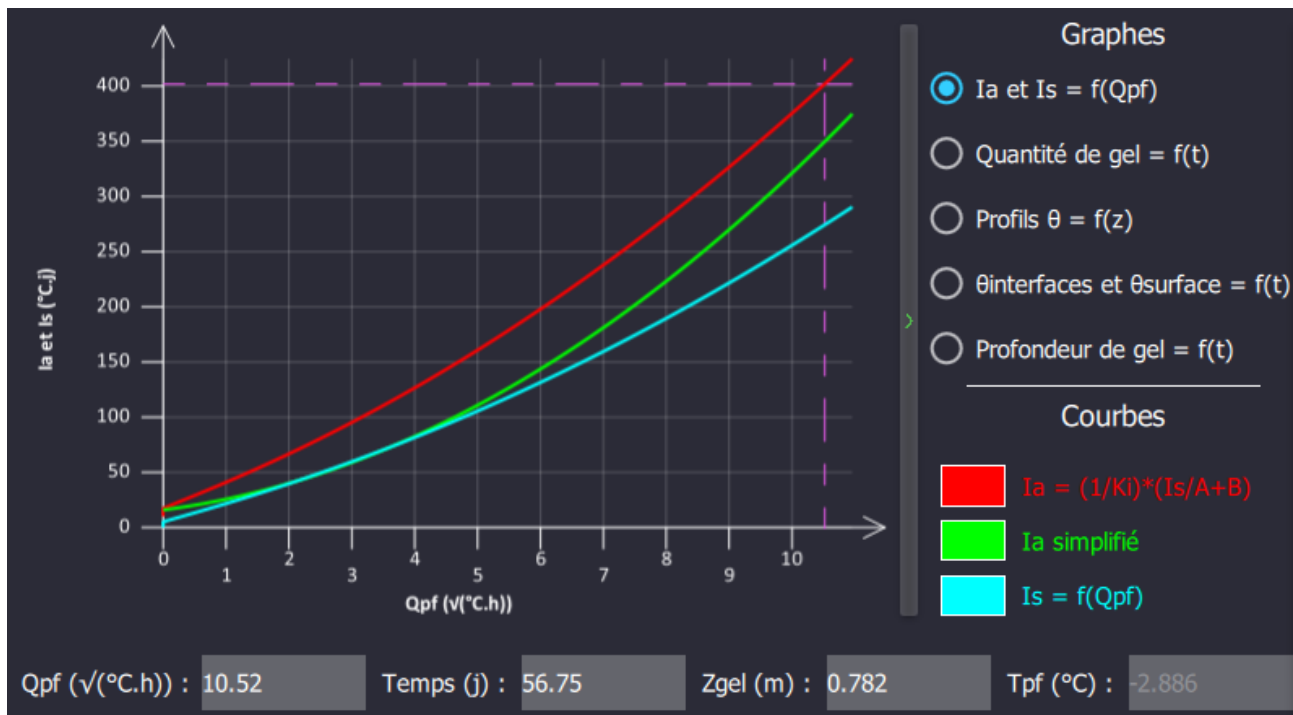


Figure 4.23 - Courbes des indices I_a et I_s en fonction de Q_{pf}



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 sur les courbes 2D.

▷ **Graphe des courbes de quantité de gel en fonction du temps**

Une courbe de quantité de gel est tracée pour chaque profondeur correspondant à une interface de couches (Figure 4.24). Dans l'exemple :

Niveau	Profondeur Z (m)
Surface du sol (courbe rouge)	0.000
1 ^{re} interface (courbe verte)	0.080
Interfaces suivantes (courbe cyan)	0.210
Plateforme (courbe orange)	0.340

Table 4.1 - Profondeurs Z des niveaux caractéristiques représentés par les courbes

Le graphe identifie par les lignes en pointillés la valeur maximale de Q_{pf} 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 4.24, 10.52 pour Q_{pf} et 56.75 pour le temps.

▷ **Graphe des profils verticaux de la température à différents instants**

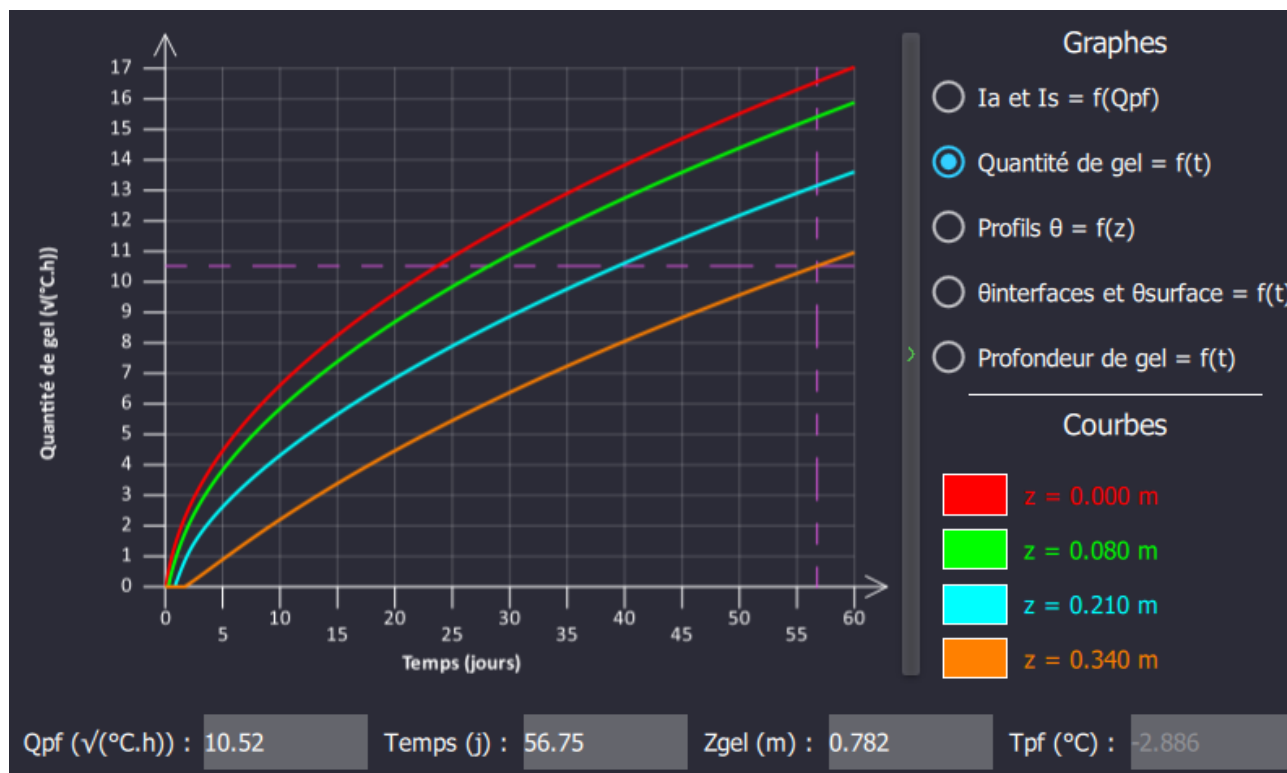


Figure 4.24 - Courbes des quantités de gel à différentes profondeurs en fonction du temps

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**

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 4.26 :

Niveau	Altitude Z (m)
Surface du sol (courbe rouge)	0.000
1 ^{re} interface (courbe verte)	0.080
Interfaces suivantes (courbe cyan)	0.210
Plateforme (courbe orange)	0.340

Table 4.2 - Profondeurs Z des niveaux caractéristiques représentés par les courbes

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 4.24.

▷ **Graphe des 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

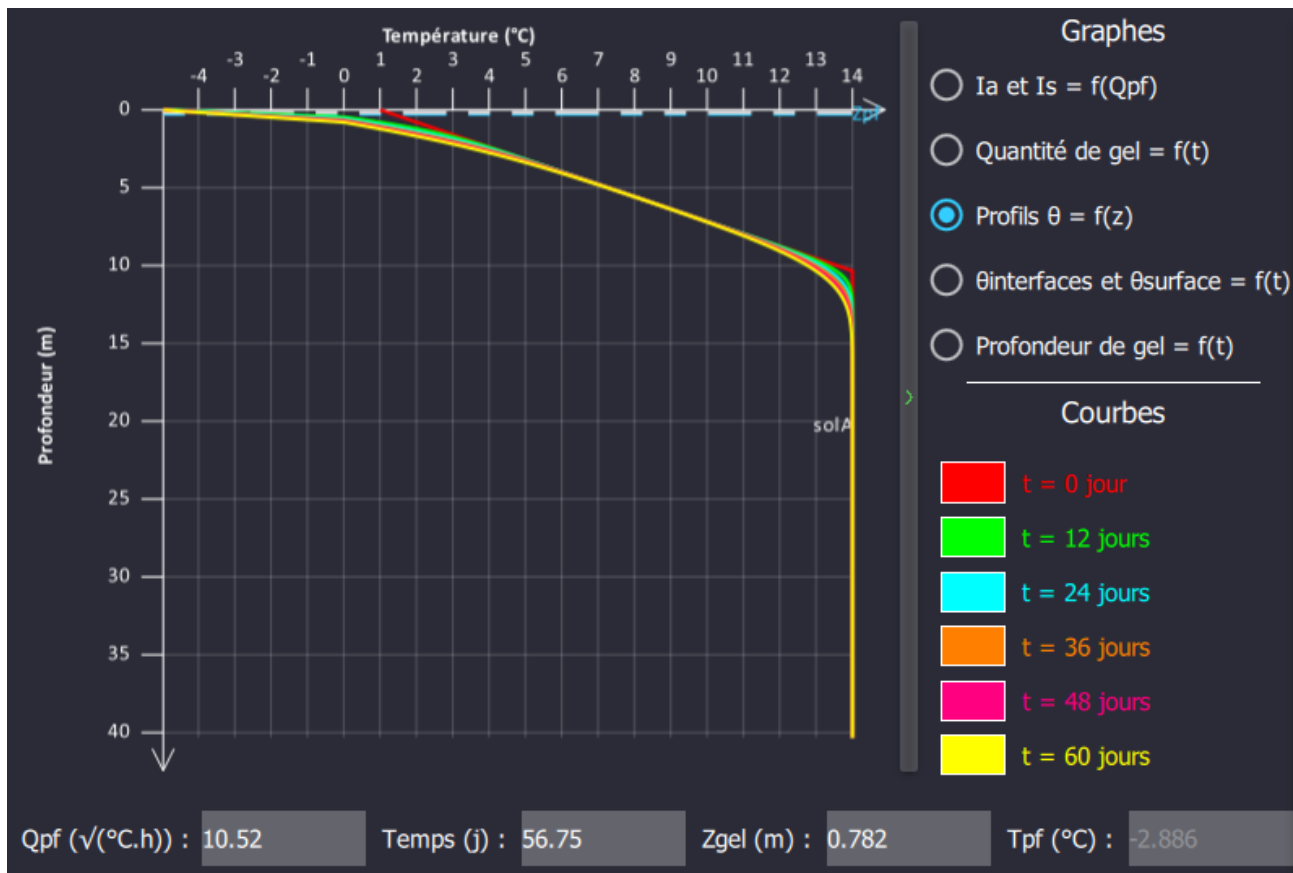


Figure 4.25 - Profils verticaux de la température à différents instants

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 4.27, 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.

4.2 Rapport gel

Le menu Projet de l'onglet Vérification comporte une nouvelle option Rapport gel (Figure 4.28), permettant de générer un document de synthèse.

Une fenêtre (Figure 4.29) permet à l'utilisateur de personnaliser ce rapport.

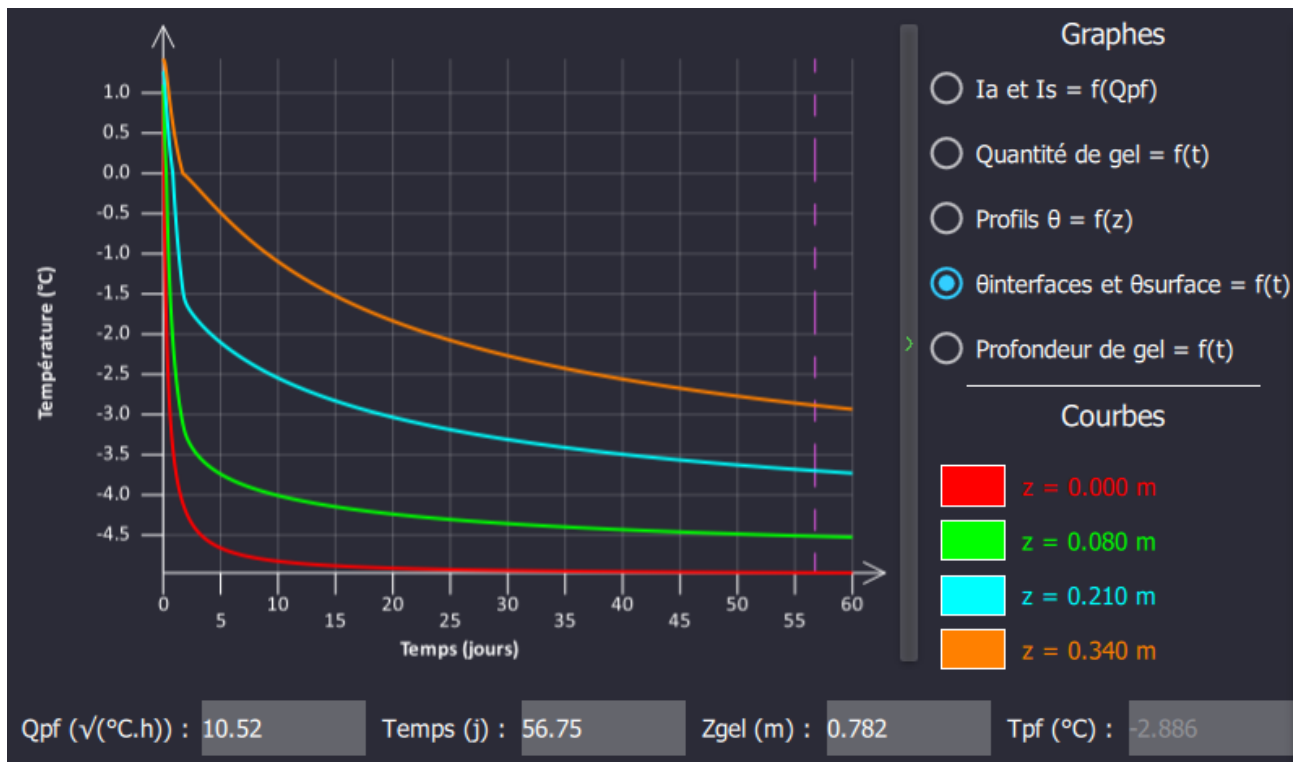


Figure 4.26 - Courbes de la température en fonction du temps

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.

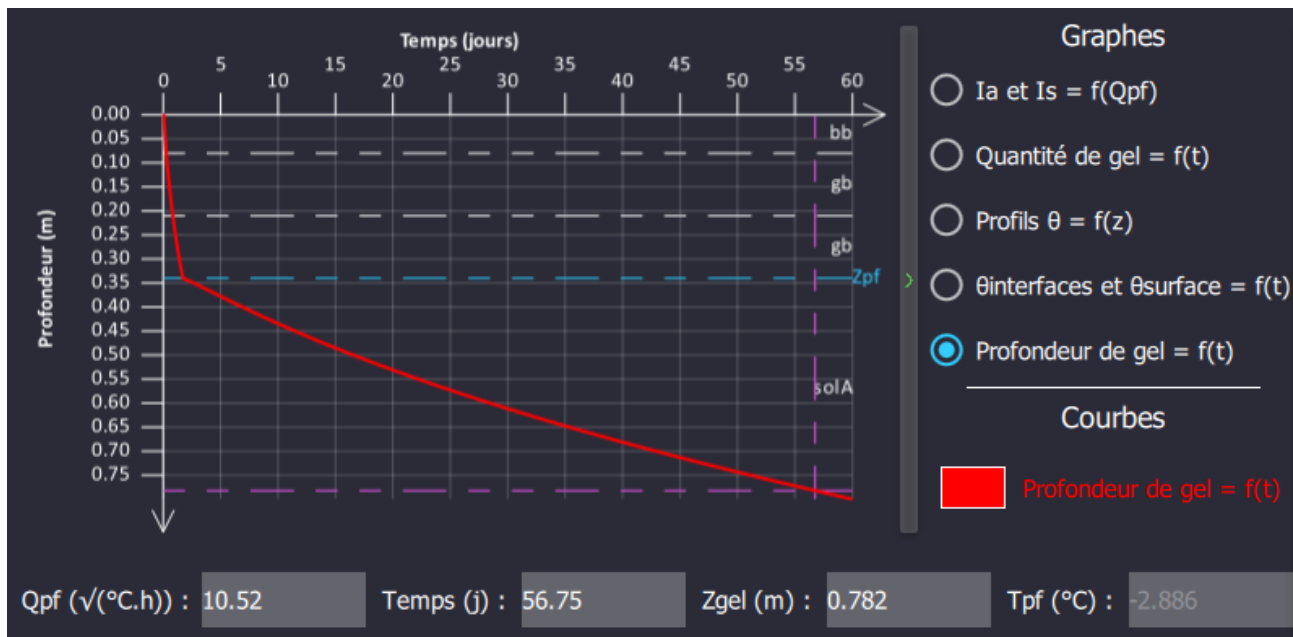


Figure 4.27 - Courbes de profondeur de gel en fonction du temps



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.

Les données issues de l'onglet Structure et intégrées dans le rapport (Figure 4.30) 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.

Le modèle de température utilisé est ensuite indiqué (Figure 4.31) :

Les données issues de l'onglet Conditions météo et intégrées dans le rapport (Figure 4.32) sont les suivantes :

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

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,

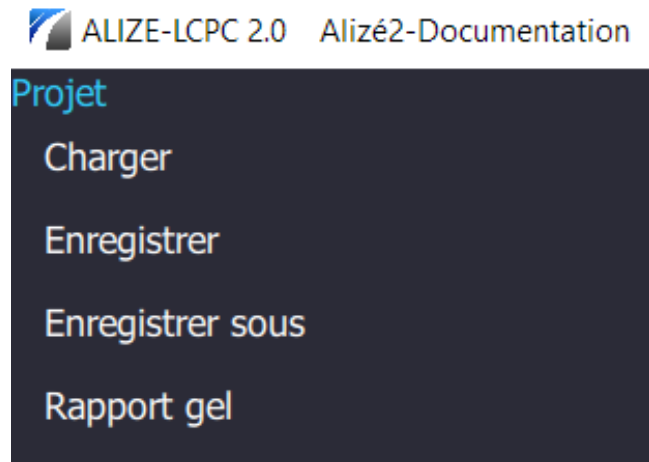


Figure 4.28 - Accès au rapport gel via le menu *Projet*

SGt) des matériaux (Figure 4.33) ;

- 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 Q_g et de Q_{ng} (Figure 4-34) ;
- l'épaisseur de la chaussée permettant d'aboutir au calcul de Q_m (Figure 4.34) ;
- le résultat Q_{pf} de la somme des valeurs de Q_g , Q_{ng} et Q_m (Figure 4.35).

La partie Résultats (Figure 4.36) du rapport gel fournit :

- les caractéristiques calculées : la valeur de Q_{pf} , le temps et la profondeur de gel Z_{gel} associées et l'indice de gel atmosphérique admissible l_a ;
- 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.

La partie Graphes affiche les différents graphes choisis. La Figure 4.37 représente l'un d'entre eux, sachant qu'ils se présentent tous selon un format similaire.

Enfin, la partie Conclusion (Figure 4.38) reprend exactement et exclusivement le contenu du champ éponyme saisi par l'utilisateur dans la fenêtre de configuration précédant la génération du rapport gel :

ALIZE-LCPC 2.0 Alizé2-Documentation
— □ ×

Préparation du rapport de calcul

Nom du projet :

Alizé2-Documentation

Auteur du rapport :

Pierre Chausse-Route

Choix des options :

- Structure et modèle de température
- Conditions météorologiques
- Calcul Qpf
- Résultats

Graphes :

- I_a et $I_s = f(Q_{pf})$
- Quantité de gel = $f(t)$
- Profils $\theta = f(z)$
- $\theta_z = f(t)$ et Profondeur de gel = $f(t)$

Description de l'étude :

Dimensionnement de la route du futur
Vérification au gel

Avertissement :

Rapport à valeur pédagogique

Conclusion :

La vérification au gel est satisfaite

ANNULER

VALIDER

Figure 4.29 - Paramétrage du rapport gel

1 Structure						
Bibliothèque	Type	Ep (m)	ρ (kg/m³)	W (%)	λ_{ng} (W/m.°C)	λ_g (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 4.30 - Exemple de partie du rapport gel liée à l'onglet Structure

2 Modèle de température
Températures : Modèle Lcpc-Sétra

Figure 4.31 - Exemple de partie du rapport gel liée au modèle de température

3 Conditions météorologiques

Paramètres de calcul de l'indice de gel admissible I_a

K_{cr} : 0.7

Hors agglomération ou agglomération de moins de 100 000 habitants.

Choix de l'indice de gel de référence I_r

Hiver de type rigoureux non exceptionnel

Station : Tours

I_r : 75 °C.j

Figure 4.32 - Exemple de partie du rapport gel liée à l'onglet Conditions météo

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 SGn (Qng)	Epaisseur Hn	0.50	m
	Classification des matériaux	(C1)A1	-
	MTLH éventuellement associés à de la chaux	Non	-
	Protection thermique apportée An	14	(°C.j) ^(1/2) .m ⁻¹
peu gélive SGp (Qg)	Epaisseur Hp	0.50	m
	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	-
	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 4.33 - Exemple de partie du rapport gel liée au calcul de Q_{ng} et Q_g

4-4 Quantité de gel Q_m 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
Q_m	$0.700 (^{\circ}\text{C}\cdot\text{j})^{(1/2)}$

Figure 4.34 - Exemple de partie du rapport gel liée au calcul de Q_m

4-5 Quantité de gel totale Q_{pf}

$$Q_{ng} = 5.833 (^{\circ}\text{C}\cdot\text{j})^{(1/2)}, \quad Q_g = 4.000 (^{\circ}\text{C}\cdot\text{j})^{(1/2)}, \quad Q_m = 0.700 (^{\circ}\text{C}\cdot\text{j})^{(1/2)}$$

$$Q_{pf} = Q_{ng} + Q_g + Q_m = 10.533 (^{\circ}\text{C}\cdot\text{j})^{(1/2)}$$

Figure 4.35 - Exemple de partie du rapport gel liée au calcul de Q_{pf}

5 Résultats

Caractéristiques calculées :

- Quantité de gel admissible au niveau de la plateforme : $Q_{pf} = 10.53 \text{ (}^\circ\text{C.j)}^{(1/2)}$
- Temps = 56.83 j
- Profondeur de gel : $Z_{gel} = 0.78 \text{ m}$
- Indice de gel atmosphérique admissible : $I_a = 402.43 \text{ }^\circ\text{C.j}$

Référence choisie :

- Valeur de l'indice de gel de référence $I_r = 75 \text{ }^\circ\text{C.j}$
- 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 I_a soit supérieure ou égale à celle de l'indice de gel I_r choisie.

$$I_a = 402.43 \text{ }^\circ\text{C.j} \geq I_r = 75 \text{ }^\circ\text{C.j}$$

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 4.36 - Exemple de partie du rapport gel liée aux résultats

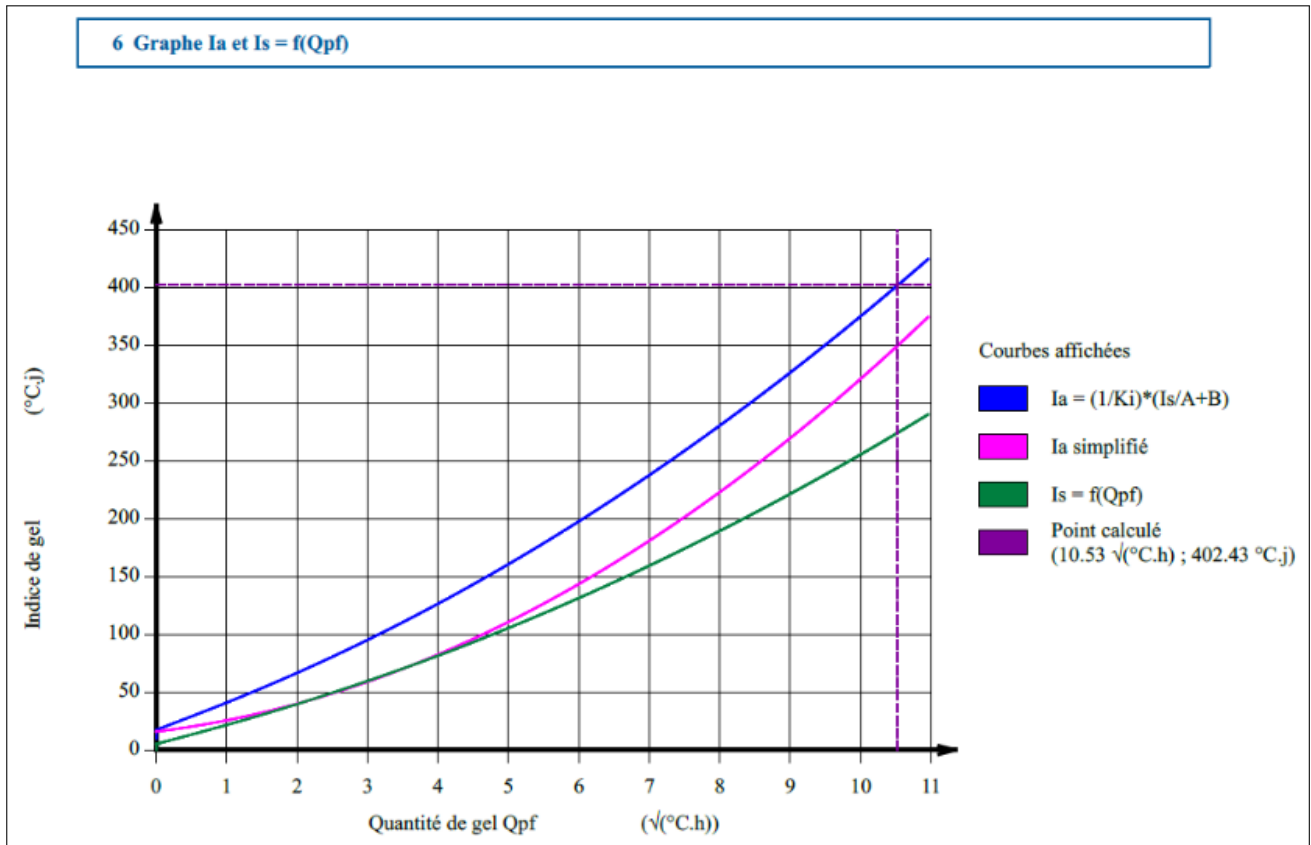


Figure 4.37 - Exemple de graphe Résultats gel

11 Conclusion

La vérification au gel est satisfaite

Figure 4.38 - Exemple de conclusion du rapport gel

5 Rétrocalcul

Le module Rétrocalcul d'Alizé2® est dédié à l'interprétation des données obtenues à l'aide d'un appareil Falling Weight Deflectometer (FWD). Le principe du rétrocalcul proposé consiste à estimer les modules d'élasticité d'une structure de chaussée en recherchant une correspondance optimale entre un modèle théorique et un bassin de déflexions mesuré.

5.1 Généralités

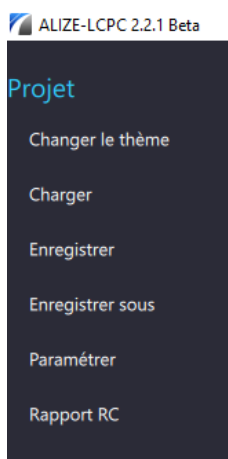


Figure 5.1 - Menu projet - module Rétrocalcul

5.1.1 Menu contextuel

Tout au long des différentes étapes du calcul, le menu contextuel (symbolisé par trois traits horizontaux en haut à gauche de l'écran) permet :

- de modifier le thème de l'application ;
- de charger un projet existant ;
- d'enregistrer le projet en cours ;
- d'accéder à l'onglet « Paramètres » ;
- de générer le « Rapport RC », une fois le calcul terminé.

5.1.2 Schéma de la structure

À droite de l'écran, un volet rabattable, similaire à celui du module Routier, affiche le schéma de la structure de chaussée en cours de définition :

- Chaque couche est représentée avec son nom et son épaisseur. Les couches sélectionnées pour l'optimisation sont indiquées en bleu.
- Les interfaces entre couches sont colorées selon leur état : collée (vert), semi-collée (bleu-foncé) ou glissante (cyan).

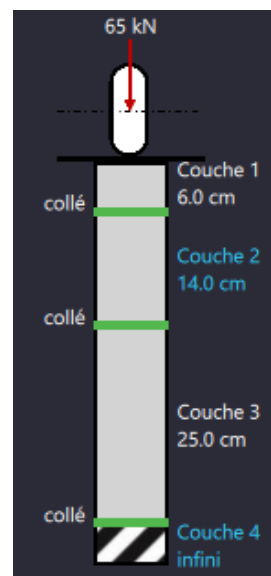


Figure 5.2 - Schéma de la structure étudiée et de sa charge (module Rétrocalcul)

Une fois un projet ouvert ou nouvellement créé (voir Section 2.4), l'utilisateur accède au rétrocalcul en suivant les différentes étapes matérialisées par la barre d'onglets en bas de l'écran.

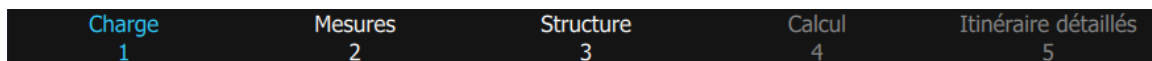


Figure 5.3 - Barre d'onglets du sous-module Rétrocalcul

5.2 Rétrocalcul Standard – bassin unique

Cette section détaille les quatre premiers onglets. L'onglet « Itinéraire », utilisé pour les calculs multi-bassins, est présenté dans la Section 5.3.

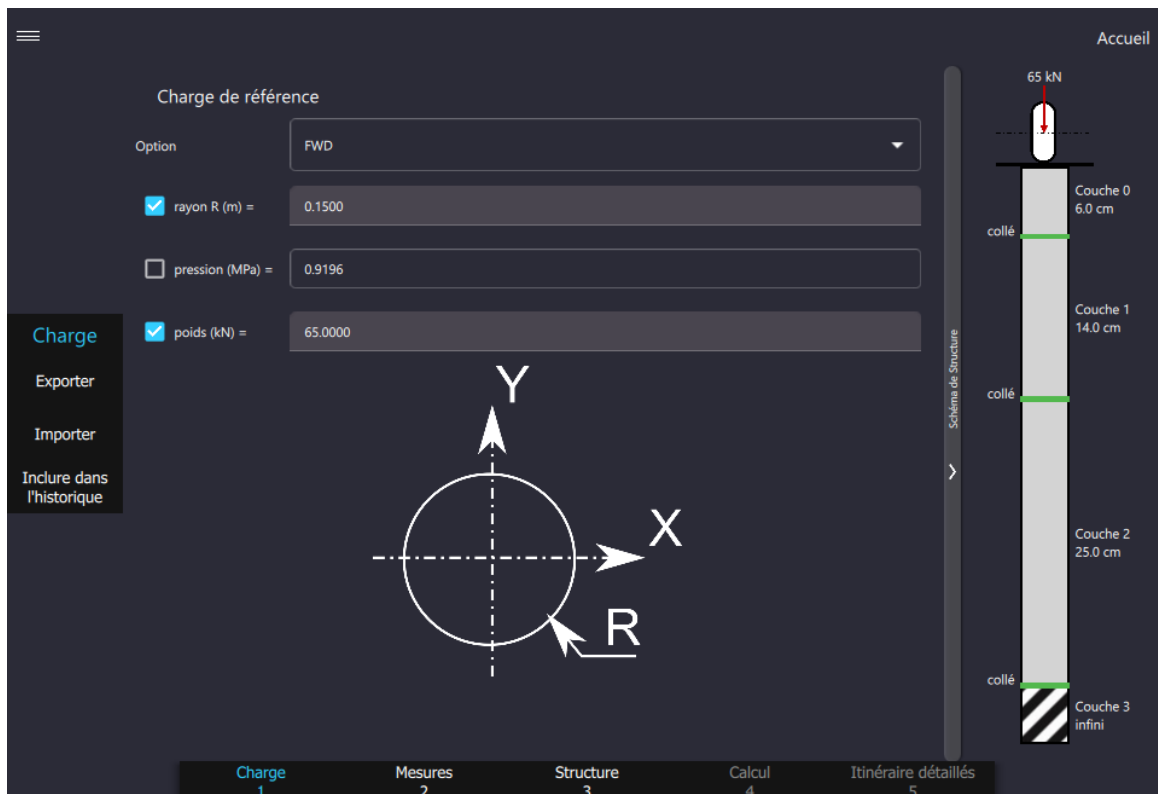


Figure 5.4 - Onglet Charge du module Rétrocalcul

5.2.1 Onglet Charge

Le premier onglet permet de définir la charge appliquée à la structure à étudier (voir Figure 5.4). Seule l'option FWD est disponible pour cette étape. L'utilisateur doit alors fournir les valeurs de deux des trois paramètres suivants :

- le rayon ;
- la pression ;
- le poids appliqué.

Grâce à la relation qui lie ces trois paramètres, la valeur du troisième est automatiquement calculée. L'utilisateur doit cocher les deux cases correspondant aux paramètres qu'il souhaite saisir, avant d'en indiquer les valeurs.

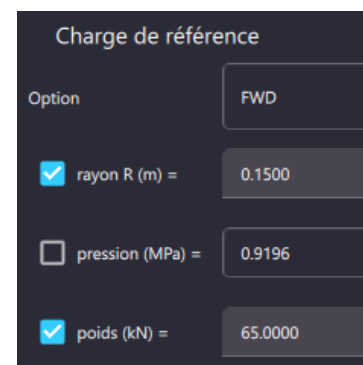


Figure 5.5 - Renseignements des paramètres charge FWD

▷ Menu vertical « Charge »

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

- importer une configuration de charge préenregistrée (*option Importer*) ;

- exporter la configuration de charge actuelle au format .txt ;
- inclure la configuration de charge dans l'historique utilisateur (voir Section 2.5).

5.2.2 Onglet Mesures – bassin unique

Le deuxième onglet est consacré à la définition du bassin de déflexions qui servira comme cible de la recherche d'une solution optimisée (Figure 5.6).

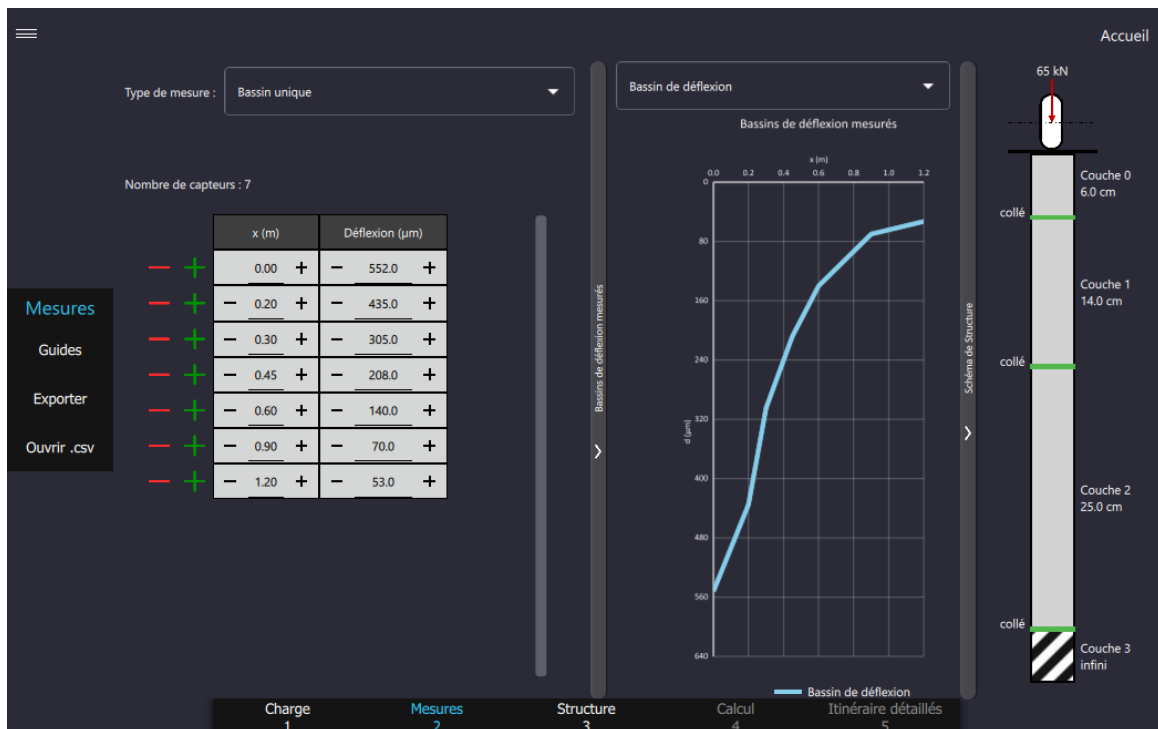


Figure 5.6 - Aperçu global de l'onglet Mesures

Pour ce faire, l'utilisateur a le choix de saisir le bassin de deux façons différentes :

- Option « Bassin unique » - il saisit directement la position des capteurs et les valeurs de déflexion correspondantes, la saisie se faisant dans le tableau affiché ;
- Option « Itinéraire » - il fournit un fichier contenant plusieurs mesures - cette option sera détaillé dans la Section 5.3.

Nombre de capteurs : 7

		x (m)	Déflexion (µm)
Mesures Guides Exporter ¹ Importer	- +	0.00 +	- 552.0 +
	- +	- 0.20 +	- 435.0 +
	- +	- 0.30 +	- 305.0 +
	- +	- 0.45 +	- 208.0 +
	- +	- 0.60 +	- 140.0 +
	- +	- 0.90 +	- 70.0 +
	- +	- 1.20 +	- 53.0 +



Figure 5.7 - Tableau de définition d'un bassin de déflexions

▷ **Exportation et importation des bassins de déflexions - cadre rouge n°1**

L'utilisateur a la possibilité d'**exporter le bassin de déflexions saisi** ou d'**importer un bassin préalablement exporté**. Les bassins sont enregistrés au format .csv, avec une structure propre à Alizé2.

▷ **Ajout et suppression d'un capteur - cadre rouge n°2**

Il est possible de **supprimer un capteur**, à condition de conserver **au moins deux capteurs** dans le bassin.

- Pour supprimer un capteur, cliquez sur le bouton **rouge** , situé à gauche du tableau, en regard du capteur (voir Figure 5.7).
- Pour ajouter un capteur, cliquez sur le bouton **vert** , au même emplacement.

Le nouveau capteur s'insère **au-dessus de la ligne sélectionnée**, avec des **valeurs intermédiaires** (position et déflexion) entre les capteurs immédiatement supérieur et inférieur.

▷ **Modification des données d'un capteur - cadre rouge n°3**

Les valeurs de position et de déflexion peuvent être saisies **manuellement** ou modifiées

à l'aide des boutons « - » et « + ». Les **positions de capteurs** doivent être **supérieures ou égales à zéro** et saisies dans un **ordre croissant**.

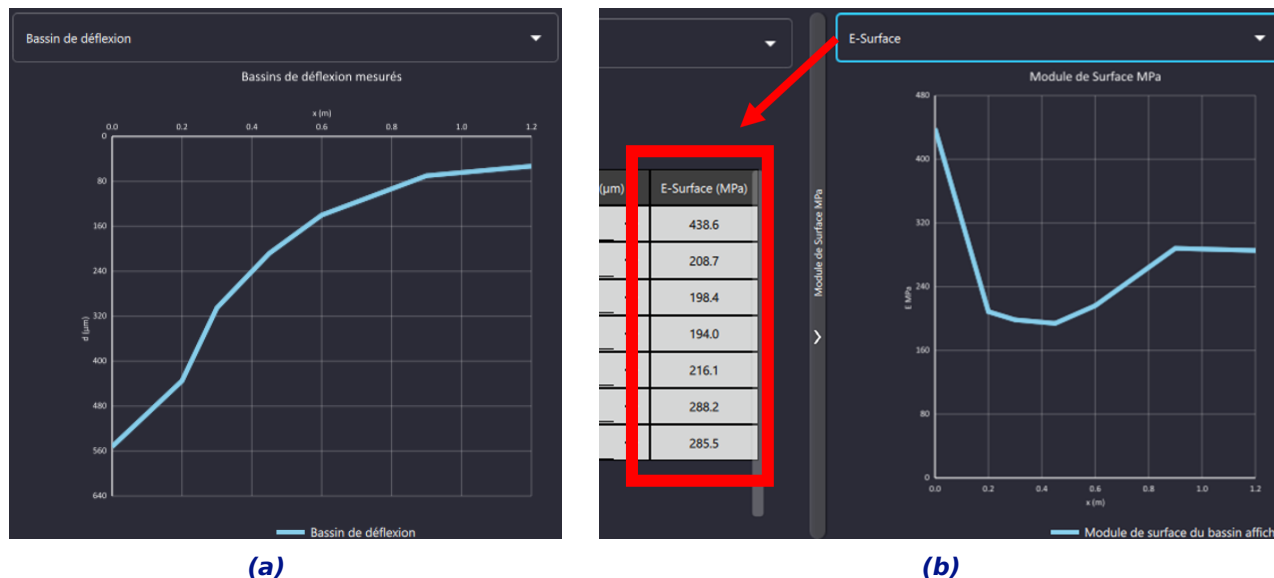


Figure 5.8 - (a) Aperçu du bassin de déflexion saisi dans l'onglet Mesures
(b) Modules de surfaces calculés pour le bassin

Sur la droite du tableau, l'utilisateur peut visualiser la forme du bassin de déflexions et suivre en temps réel l'influence des modifications.

Une liste déroulante située au-dessus du graphe permet de basculer entre les vues :

- **Bassin de déflexion**
- **E-surface** : permet d'accéder au **calcul des modules de surface** pour chaque point saisi, utilisé pour l'étude de la linéarité des bassins.

Lorsque l'option *E-surface* est sélectionnée :

- le graphe s'adapte à cette visualisation ;
- une **nouvelle colonne apparaît à gauche du tableau**, avec les valeurs de modules de surface calculées.

5.2.3 Onglet Structure

Cet onglet permet de définir la **structure de référence**.

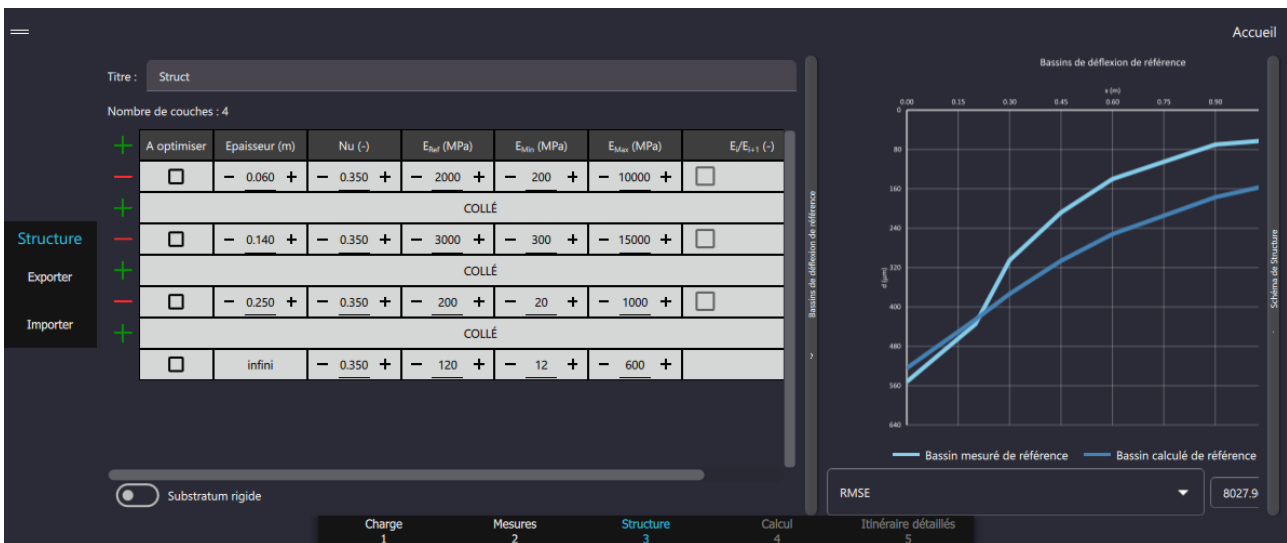


Figure 5.9 - Aperçu global de l'onglet Structure Rétrocalcul

À gauche, le **tableau de structure de référence** permet la saisie des propriétés connues de la structure, ainsi que des plages de recherche pour les modules inconnus.

À droite, un graphe affiche :

- le bassin mesuré (saisi dans l'onglet *Mesures*) ;
- le bassin de référence, calculé à partir de la structure définie.

Le bassin de référence est calculé aux mêmes points que ceux du bassin mesuré (colonne $x(m)$ de l'onglet *Mesures*).

► **Titre de la structure**

L'utilisateur peut attribuer un **titre à la structure** (voir Figure 5.10).

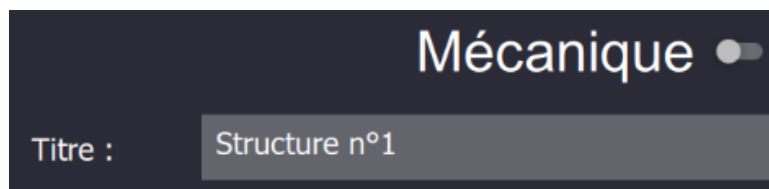


Figure 5.10 - Attribution d'un titre à la structure Rétrocalcul

Ce titre est utile notamment lors de la sauvegarde, car il permet : d'identifier rapidement une structure connue, de tester différents types de structure, de la retrouver dans l'historique utilisateur ou dans le rapport mécanique, etc.

Nombre de couches : 4

	A optimiser	Epaisseur (m)	Nu (-)	E _{ref} (MPa)	E _{Min} (MPa)	E _{Max} (MPa)	E/E _{i-1} (-)
+	<input type="checkbox"/>	- 0.060 +	- 0.350 +	- 2000 +	- 200 +	- 10000 +	<input type="checkbox"/>
	COLLÉ						
-	<input type="checkbox"/>	- 0.140 +	- 0.350 +	- 3000 +	- 300 +	- 15000 +	<input type="checkbox"/>
	COLLÉ						
+	<input type="checkbox"/>	- 0.250 +	- 0.350 +	- 200 +	- 20 +	- 1000 +	<input type="checkbox"/>
	COLLÉ						
+	<input type="checkbox"/>	infini	- 0.350 +	- 120 +	- 12 +	- 600 +	

Substratum rigide

Figure 5.11 - Tableau de données de l'onglet Structure Rétrocalcul

▷ **Tableau de données**

Une structure prédéfinie est proposée avec quatre couches. Le tableau (Figure 5.11) affiche, pour chaque couche :

- son **statut** : « à optimiser » ou « non optimisé » ;
- son **épaisseur** ;
- son **coefficient de Poisson** ;
- son **module de référence** ;
- son **module minimal** ;
- son **module maximal** ;
- son **rapport de module** par rapport à la couche inférieure.

Certaines valeurs sont modifiables ; celles qui ne le sont pas apparaissent grisées.

▷ **Ajout d'un substratum rigide**

Un interrupteur situé en bas à gauche active la **présence d'un substratum rigide**. Les propriétés de cette couche :

- ne sont pas modifiables,
- ne peuvent pas être optimisées,
- respectent les valeurs recommandées par le guide de renforcement [3].

▷ Modification de valeurs numériques

Les propriétés suivantes sont modifiables :

- **épaisseur de couche,**
- **coefficient de Poisson,**
- **modules** (référence, minimal, maximal).

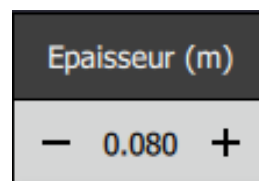


Figure 5.12 -
Modification de
l'épaisseur d'une
couche

Les boutons « + » et « - » permettent d'ajuster les valeurs par pas prédéfinis. Il est également possible de saisir manuellement une valeur :

- Cliquer dans le champ concerné ;
- Saisir la nouvelle valeur ;
- Valider avec la touche Entrée.

Le coefficient de Poisson doit rester dans l'intervalle **[0.0 ; 0.5]**.

L'utilisateur peut aussi **lier le module de deux couches consécutives** via une case à cocher dans la dernière colonne. Une fois cette option activée :

- la couche supérieure adopte un module égal à un **multiple du module de la couche inférieure** (par exemple : $1,5\times$) ;
- une couche liée ne peut pas être sélectionnée comme « à optimiser » ;
- si la couche inférieure est optimisée, la valeur de la couche liée sera automatiquement ajustée.

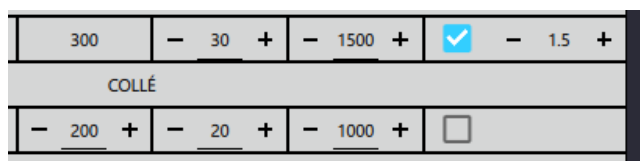




Figure 5.13 - Rapport de module entre couches sous-jacentes

▷ Exportation et importation des structures

L'utilisateur peut **exporter** la structure saisie ou **importer** une structure précédemment sauvegardée. Les fichiers sont enregistrés au format .csv, selon un format spécifique à Alizé2®.

▷ Ajout et suppression d'une couche

Il est possible d'ajouter ou de supprimer des couches dans le tableau de structure (Figure 5.11), à condition de conserver au moins **deux couches**.

- Pour **supprimer une couche**, cliquer sur le bouton **rouge**  à gauche de la ligne de la couche concernée.
- Pour **ajouter une couche**, cliquer sur le bouton **vert**  à la même position. La nouvelle couche est insérée **au-dessus de la ligne sélectionnée**, avec les mêmes propriétés que celle-ci.

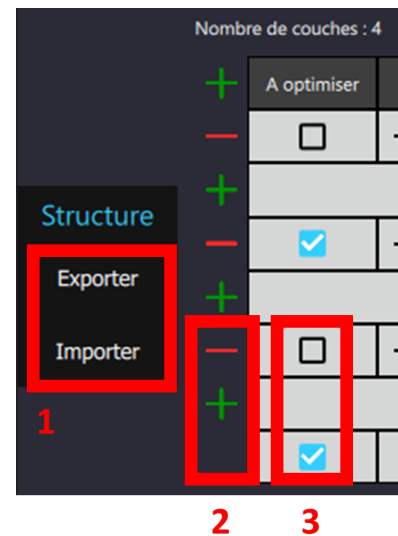


Figure 5.14 - Fonctionnalités additionnelles de l'onglet Structure Rétrocalcul

▷ Sélection des couches à optimiser

L'utilisateur peut indiquer les couches pour lesquelles le **module doit être optimisé**. Le logiciel cherchera une structure cohérente avec les données mesurées lors du calcul (onglet *Calcul*).

- Le nombre de couches optimisables est limité à **quatre**.
- Une couche dont le module dépend d'une couche inférieure (via un rapport imposé) ne peut pas être sélectionnée.

▷ Graphe « Bassin mesuré x Bassin calculé »

À droite du tableau de structure, un **graphe compare** :

- le **bassin mesuré** (saisi dans l'onglet *Mesures*) ;
- le **bassin calculé** (dédit des propriétés de structure définies dans l'onglet *Structure*).

L'utilisateur peut **visualiser en temps réel l'impact des modifications** apportées à la structure. Le bassin de référence est recalculé automatiquement aux points X (distances du centre de charge) spécifiés dans l'onglet *Mesures*.

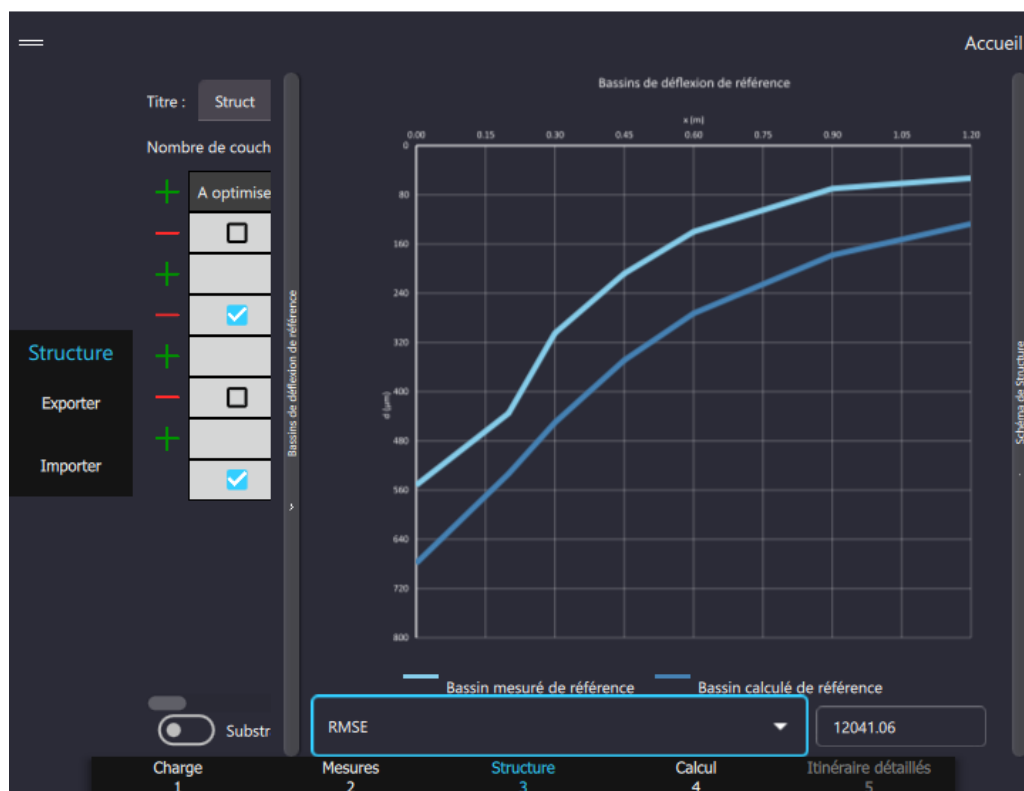


Figure 5.15 – Graphe bassins de référence calculé et mesuré

► Indicateurs de fiabilité

Sous le tableau, trois **indicateurs de performance** évaluent la correspondance entre le bassin mesuré et le bassin calculé :

- **Écart simple** : mesure la différence moyenne ;
- **Erreur quadratique moyenne (RMSE)** : donne le niveau global d'écart ;
- **Coefficient de corrélation R^2** : indique la qualité de l'ajustement.

5.2.4 Onglet Calcul

A partir de l'onglet « Calcul » l'utilisateur peut demander le calcul de recherche de solutions optimisées et évaluer les résultats proposés par le logiciel.

Cet onglet comporte trois zones distinctes :

1. La sélection des algorithmes de recherche et le lancement du calcul
2. La comparaison et l'évaluation des solutions calculées – disponible après réalisation d'un calcul

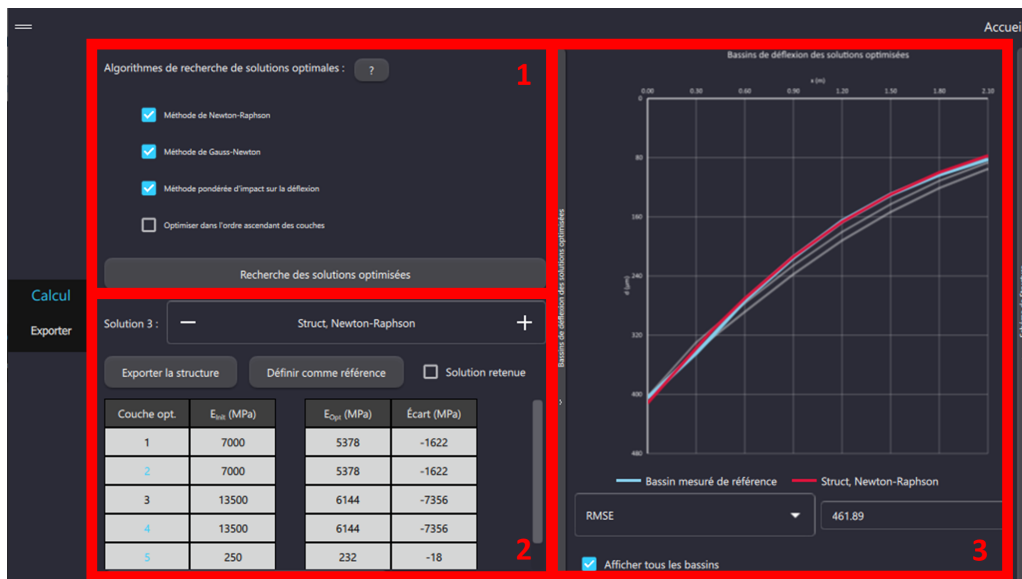


Figure 5.16 - Vue globale de l'onglet Calcul Rétrocalcul

3. Le graphe de visualisation des bassins calculés pour chaque solution proposée, ainsi que le bassin mesuré (cible de l'optimisation)

► **Algorithmes de recherche de solutions optimales**

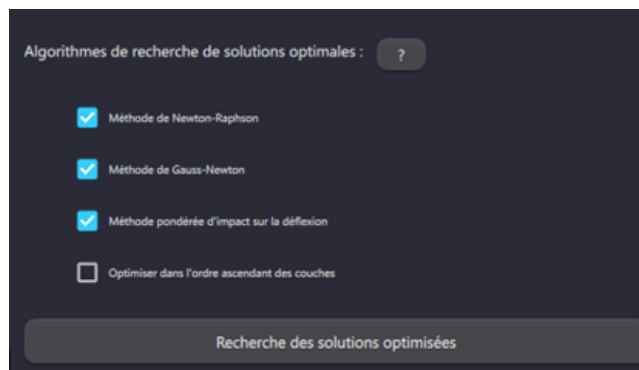



Figure 5.17 - Algorithmes de recherche de solutions optimales

Quatre algorithmes de recherche sont proposés. Le bouton  situé en haut à droite de la liste de sélection d'algorithmes ouvre une fenêtre avec des explications détaillées sur les différences entre chaque algorithme.

Une fois les algorithmes choisis, l'utilisateur peut démarrer le calcul via le bouton **Recherche des solutions optimisées**. Le logiciel va alors essayer de trouver des structures qui correspondent mieux au bassin mesuré en faisant varier les modules des couches « À optimiser ».

Tous les algorithmes d'optimisation disponibles sont itératifs et utilisent comme critère

la réduction de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) entre le bassin mesuré et le bassin calculé à partir de la structure générée pour l'algorithme. Chaque algorithme opère de façon indépendante et utilise toujours la structure de référence comme point de départ.



Dû à l'aspect itérative des méthodes de calcul, il est possible qu'un algorithme particulier ne converge pas à une solution optimale. Dans le cas où la solution calculée par un algorithme a une pire correspondance (sur le critère de réduction de la RMSE) que la structure de référence, celle-là ne sera pas incluse dans la liste de solutions proposées par le logiciel.

▷ Comparaison et évaluation des solutions proposées

À la fin du calcul, l'onglet se met à jour et il est alors possible de faire défiler et d'évaluer les différentes solutions proposées. Le nom de chaque solution correspond toujours au nom de la structure de référence - saisie dans l'onglet « Structure » - suivi d'un mot-clé permettant d'identifier l'algorithme utilisé pour le calcul. Ces solutions ne sont pas classées dans un ordre particulier.

Couche opt.	E_{opt} (MPa)	E_{ref} (MPa)	Écart (MPa)
1	8000	8000	0
2	5378	8766	3388
3	10000	10000	0
4	6144	3370	-2774
5	232	234	2

Figure 5.18 - Tableau d'évaluation des solutions proposées

Sur le ruban de fonctionnalités, l'utilisateur dispose des contrôles suivants :

1. « **Exporter la structure** » : ouvre une boîte de dialogue pour enregistrer la structure solution actuellement affichée au format .csv ;
2. « **Définir comme référence** » : la structure affichée remplace la structure définie dans l'onglet « Structure » et la liste des solutions est effacée ;
3. « **Solution retenue** » : en cochant cette case, l'utilisateur indique quelle solution semble mieux répondre au problème étudié. Ce choix est répertorié dans l'onglet « Itinéraire » pour le calcul multi-bassins et dans les rapports de calcul.

Dans le tableau en bas de l'onglet, l'utilisateur peut consulter la différence entre la structure optimale proposée par les algorithmes et la structure de référence. Les couches avec des modules variables sont affichées en bleu.



La nature du problème étudié rend impossible la proposition d'une solution optimale unique.

Il peut arriver que tous les algorithmes proposent des solutions similaires; dans d'autres cas, un algorithme peut fournir une solution qui, bien que mathématiquement cohérente, présente des valeurs de module irréalistes pour les matériaux des couches étudiées. La mise à disposition de différents algorithmes de calcul permet d'élargir la gamme de solutions proposées. Le logiciel ne privilégie aucun algorithme ni aucune solution. Il revient à l'utilisateur de choisir celle qui lui semble la plus adaptée au problème étudié. Si aucune solution proposée ne semble convenir, il est recommandé de modifier la structure de référence ou d'essayer d'autres algorithmes dans l'espoir d'obtenir des résultats différents.

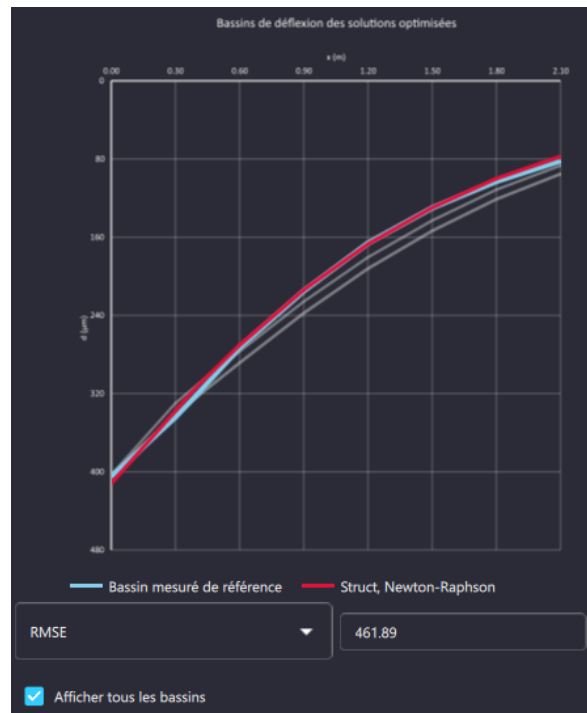


Figure 5.19 - Graphe de comparaison des solutions proposées

▷ Graphe des solutions optimisées

À droite, le graphe compare le bassin mesuré de référence, saisi dans l'onglet « Mesures », avec le bassin calculé optimisé, calculé à partir de la structure solution affichée à gauche.

En modifiant la structure solution affichée, l'utilisateur peut comparer l'ajustement du bassin calculé pour chaque solution par rapport au bassin mesuré.

Une case à cocher en bas du graphe permet de visualiser tous les bassins sur le même graphe. Le bassin calculé optimisé est calculé exactement aux mêmes points « X » (distance du centre d'application de charge) saisis dans l'onglet « Mesures ».

En bas du tableau, l'utilisateur peut consulter trois indicateurs de fiabilité de la structure proposée comme solution :

- l'écart simple,
- l'erreur quadratique moyenne (RMSE),
- le coefficient de corrélation R^2 .

5.3 Rétrocalcul Standard – bassins multiples

Cette section détaille la réalisation d'un calcul à partir de données extraites d'un fichier de mesures généré par un FWD. Le principe du calcul consiste à trouver une solution optimisée et cohérente pour un bassin représentatif de l'ensemble de l'itinéraire - appelé ci-après *bassin de référence* - et à utiliser cette solution comme base de référence pour l'ensemble du calcul.

Pour commencer un calcul à partir d'un fichier de mesures, se rendre dans l'onglet *Measures*, choisir l'option "Type de mesure : " » "Itinéraire", puis cliquer sur **Importer** pour sélectionner un fichier à lire.



Il est possible d'importer des fichiers de mesure provenant de différents fabricants dans le module Rétro-calcul. La version actuelle d'Alizé2® est capable de lire les fichiers des instruments Dynatest® (.F20, .F25, .FWD), KUAB (.fwd), Carls Bro (.fwd), ainsi que les formats universels .DDS. Un format spécifique à Alizé2® (.csv) a également été développé afin de faciliter l'exploitation des données traitées par le logiciel.



Figure 5.20 - Onglet d'importation d'un itinéraire de bassins

5.3.1 Onglet Mesures – importation d'un itinéraire

Cet onglet permet d'afficher et d'analyser les données de déflexion mesurées pour chaque bassin. Il offre à l'utilisateur un aperçu détaillé des caractéristiques de chaque station et permet d'exclure manuellement les bassins jugés non pertinents.

▷ Informations générales

Plusieurs informations techniques sont affichées en haut de l'interface :

- **Rayon de la plaque** : rayon utilisé pour la mesure de déflexion (en mètres).
- **Nombre de stations** : nombre total de stations de mesure.
- **Nombre de capteurs** : nombre de capteurs positionnés radialement.
- **Longueur totale** : distance couverte par la mesure (en mètres). Détermine en fonction du chaînage de la dernière station.
- **Nombre total de bassins** : nombre de bassins disponibles, et nombre de bassins retenus après filtrage.

▷ Sélection du bassin affiché

Un contrôle de navigation permet de sélectionner le bassin à visualiser. Il est possible d'alterner entre les bassins à l'aide des boutons + et -. Cela permet de parcourir les bassins un à un pour les vérifier ou les exclure si nécessaire.

▷ Exclusion d'un bassin

Chaque bassin peut être exclu manuellement de l'analyse en cochant l'option **Bassin exclu**. Cette option est utile pour ignorer des données anormales ou non représentatives.

▷ Détails techniques du bassin sélectionné



Pour le bassin affiché, les informations suivantes sont fournies :

- **N° de station** : index de la station.
- **Chainage** : distance de la station par rapport au point de départ. Cette valeur est extraite directement du fichier de données si disponible, le calcul des distances à partir des données de géolocalisation n'est pas réalisé.
- **N° drop** : numéro du drop du bassin sélectionné.
- **Force (kN)** : force appliquée pendant la mesure.
- **Nombre de drops de la station** : nombre total de mesures pour cette station.

▷ Visualisation et édition des données de déflexion

Les données sont affichées sous forme de tableau avec :

- **x (m)** : position radiale du capteur par rapport au centre d'impact.
- **y (m)** : généralement 0, axe perpendiculaire à x.
- **Déflexion (μm)** : valeur mesurée pour chaque capteur.

L'utilisateur peut choisir d'ignorer un capteur en cliquant sur le bouton  situé à gauche de chaque ligne du tableau. Cette fonctionnalité est utile lors de la lecture d'un fichier contenant des capteurs éteints ou défectueux. Pour réactiver un capteur, il suffit de cliquer sur le bouton  situé à gauche de la ligne désactivée.



Ces données permettent de visualiser la courbe de déflexion à droite. Les données avec une position y différente de 0 doivent impérativement être exclus, car la module RC traite seulement le calcul sur un axe unique de mesure. Ces valeurs sont toujours affichées pour permettre à l'utilisateur de bien identifier les capteurs importés.

Utilisez la barre de défilement pour accéder à l'ensemble des résultats.

Deux boutons permettent de naviguer ou valider les données :

- **Filtres** : retourne à l'onglet précédent pour ajuster les paramètres de filtrage.
- **Valider** : confirme l'importation et les filtres configurés à la lecture.

5.3.2 Onglet Mesures – configuration des filtres

Niveaux de charge moyens pris en compte :

64 kN 32 kN

N° des drops à importer :

drop 1 drop 2 drop 3

Nombre total de bassins : 21 (dont retenus : 7)

Sélection des stations :

Station minimum (distance) : (0)

Station maximum (distance) : (50)

Filtres de bassins :

Dmax inférieur :

Dmax supérieur :

Écart avec la moyenne maximal :

Voir les bassins Valider

Figure 5.21 - Onglet de configuration des filtres d'importation d'un itinéraire

En haut de l'onglet, il est indiqué le nombre total de bassins disponibles et le nombre de bassins **retenus** après application des filtres.

Exemple : 21 (dont retenus : 7) signifie que 7 bassins sont conservés pour l'étude d'un total de 21 présents dans le fichier.

▷ **Niveaux de charge moyens pris en compte**

Cochez les niveaux de charge souhaités. Alizé2® regroupe automatiquement les mesures présentes dans le fichier en fonction de la valeur de la charge. Un *niveau de charge* regroupe toutes les mesures avec une charge à l'application de $\pm 5\%$ la valeur moyenne du niveau.

Vous pouvez cocher un ou plusieurs niveaux selon les charges testées.

▷ **Numéros des drops à importer**

Cochez les drops (mesures successives) à inclure, numéroté dans l'ordre de figuration

sur la station importé. Ex. : drop 1, drop 2, drop 3, correspondent au premier, deuxième et troisième impact respectivement.



Il est recommandé d'exclure le premier drop de chaque station (drop 1) car ils correspondent souvent à un drop de pré-chargement qui sert à assurer la mise en place de la plaque et des géophones à la surface de la chaussée. (guide du STAC « Auscultation des chaussées souples aéronautiques au HWD ». § 4.4)"[1]

▷ Sélection des stations

Définissez la plage de distances à considérer :

- **Station minimum (distance)** : première station à partir de laquelle les données sont prises en compte.
- **Station maximum (distance)** : station limite au-delà de laquelle les données ne sont pas incluses.

▷ Filtres de bassins

Permettent d'exclure certains bassins :

- **Dmax inférieur** : seuil minimal de déflexion maximale à inclure.
Les bassins avec Dmax en dessous de ce seuil seront exclus.
- **Dmax supérieur** : seuil maximal de déflexion maximale à inclure.
Les bassins avec Dmax au-dessus de cette valeur sont exclus.
- **Écart avec la moyenne maximal** : Définit la tolérance maximale d'écart entre un bassin et la moyenne.
Permet d'éliminer les bassins trop éloignés de la tendance générale.

L'utilisateur peut retourner à l'onglet précédent à partir du bouton [Voir les bassins](#). Une fois les filtres configurés, l'exportation peut être acceptée en appuyant sur le bouton [Valider](#). Si l'utilisateur essaie de passer à une autre onglet, il sera invité à valider les paramètres d'importation.

5.3.3 Onglet Mesures - importation validée

Après avoir validé la configuration des filtres, l'onglet *Mesures* se met à jour avec le résumé des informations de l'itinéraire. L'utilisateur peut sélectionner le bassin à visualiser en cliquant sur les boutons + et - à côté de *Bassin affiché*. Il est également possible de choisir quel bassin mesuré sera utilisé dans les traitements des onglets suivantes. Pour le faire, cochez **Bassin de référence** pour désigner le bassin actuellement affiché comme référence. Si aucun bassin est choisi, un bassin construit à partir des valeurs moyennes de déflexion de chaque capteur sera désigné comme Bassin de Référence.

Il est toujours possibles de revenir à l'onglet de configuration des filtres à partir du bouton

Reconfigurer les filtres



Figure 5.22 - Onglet de visualisation d'un itinéraire de bassins

5.3.4 Onglet Mesures - Extraction des groupes

Cet onglet permet de regrouper automatiquement les bassins en zones homogènes selon leur comportement mécanique, à l'aide d'un algorithme de segmentation. Le but est d'identifier des ensembles de bassins ayant des caractéristiques similaires, facilitant leur analyse ou leur traitement groupé.

L'utilisateur dispose des deux algorithmes pour faire l'extraction automatique, sélectionnables à partir du menu déroulant :

- CUSUM : Méthode basée sur le contrôle cumulatif de la somme pour détecter les ruptures de tendance.
- Maximisation d'espérance : Approche probabiliste fondée sur l'optimisation de la vraisemblance d'appartenance des bassins à des groupes.

▷ CUSUM

De l'anglais Cumulated Summation. A partir du graphe, l'utilisateur peut identifier visuellement les ruptures de tendance dans un itinéraire successif de mesures. En dessous du graphe, l'utilisateur dispose des contrôles pour définir la plage des valeurs qu'il souhaite extraire. Chaque appui sur le bouton **Extraire groupes de bassin** génère un nouveau fichier itinéraire constitué seulement des bassins inclus dans les limites définies.

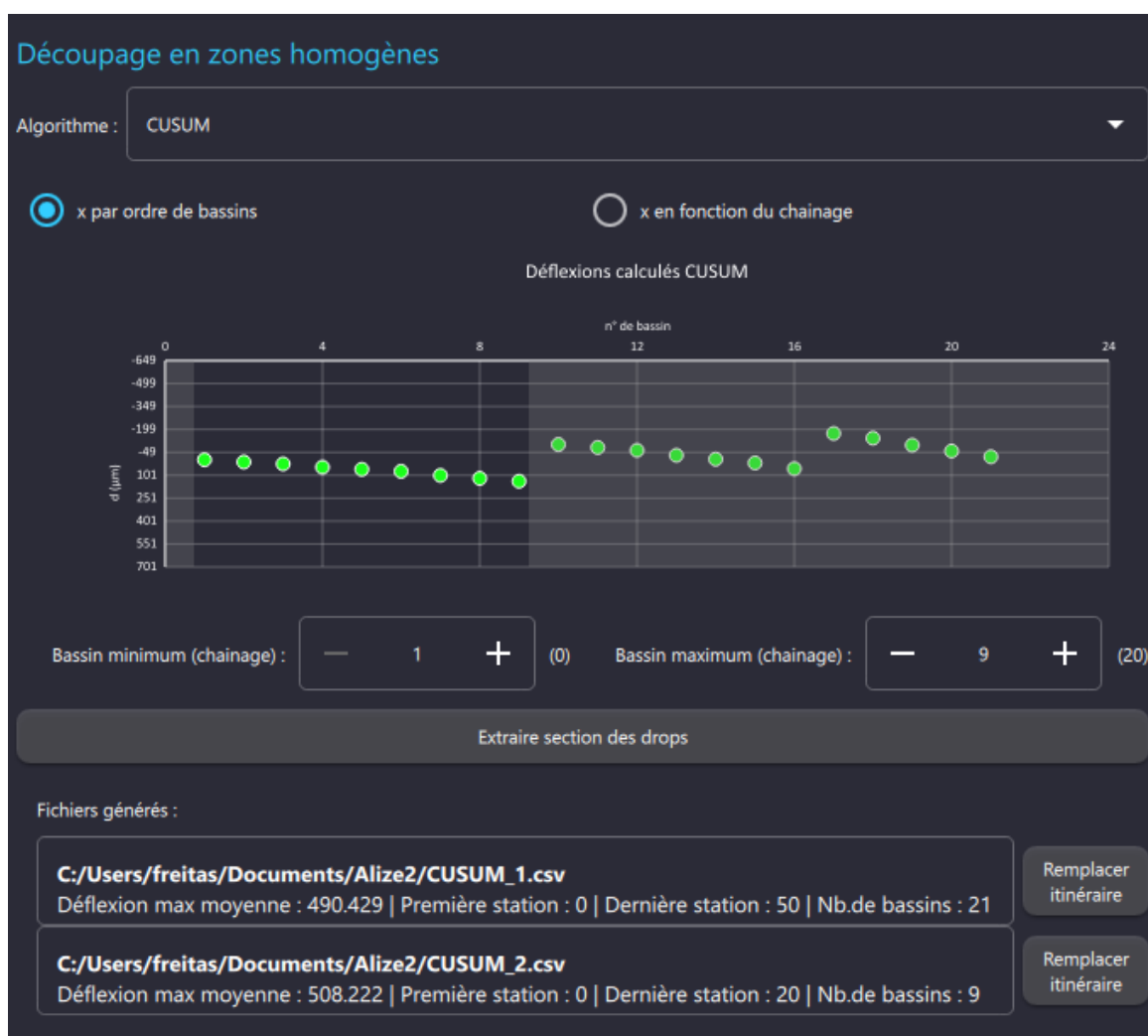


Figure 5.23 - Fenêtre d'extraction d'un groupe de bassins - méthode CUSUM

Définissez la plage de distances à considérer :

- **Bassin minimum (distance)** : premier bassin du groupe homogène.
- **Bassin maximum (distance)** : dernier bassin du groupe homogène.

▷ Maximisation d'espérance

Cette méthode estime une distribution normale des déformations maximales dans un

groupe des bassins homogènes. Sur ce principe, l’algorithme essaie de regrouper l’ensemble des bassins de l’itinéraire de façon à maximiser la probabilité qu’un bassin donné appartienne à un des groupes proposés. Pour se faire, cette méthode commence par une première estimation aléatoire sur laquelle il va itérer jusqu’à converger vers une solution optimale. Comme la solution dépend de cette première estimation aléatoire, l’utilisateur est invité à lancer cet algorithme plusieurs fois afin de comparer les différentes solutions proposées pour un même itinéraire.

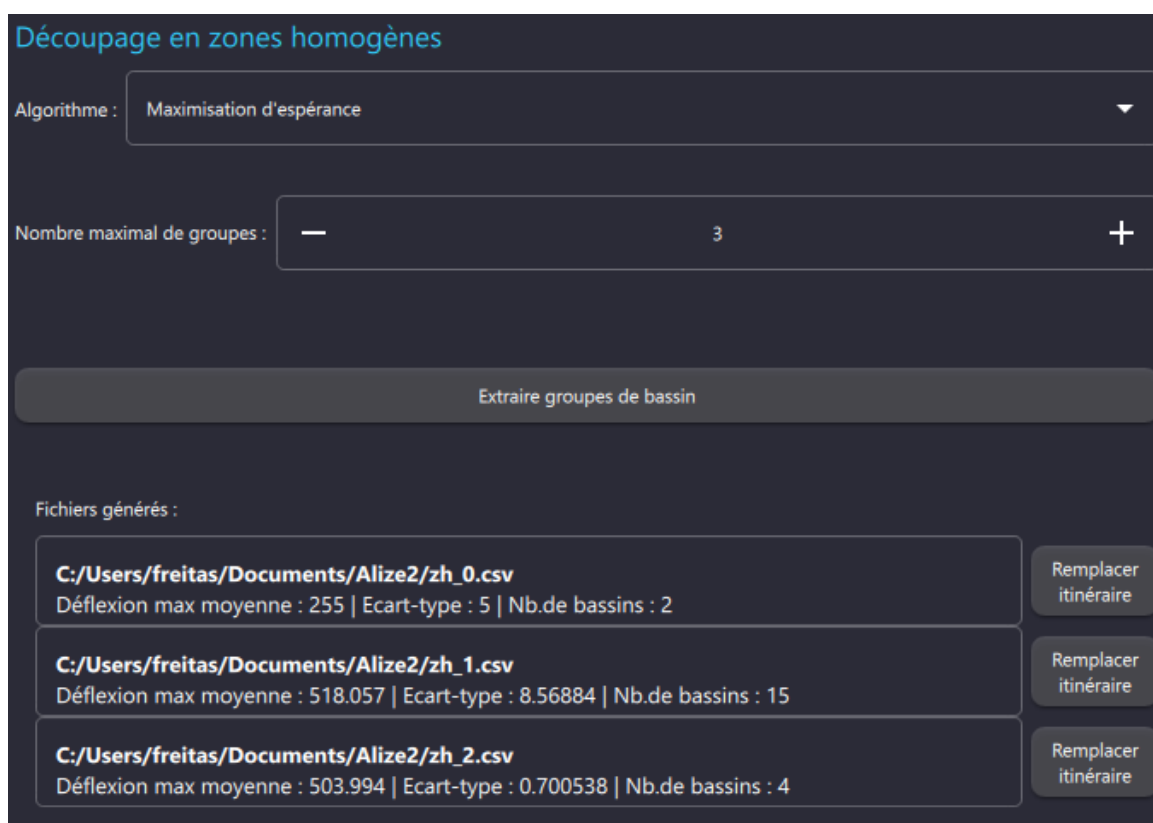


Figure 5.24 – Fenêtre d’extraction d’un groupe de bassins - méthode Maximisation d’espérance

- **Nombre maximal de groupes** : Permet de fixer la limite supérieure du nombre de groupes homogènes que l’algorithme peut créer. Les boutons + et – ajustent cette valeur.
- **Bouton “Extraire groupes de bassin”** : Lance l’algorithme de regroupement selon les paramètres définis.

► Fichiers générés

Une fois le découpage effectué, les résultats sont exportés sous forme de fichiers .csv listant les bassins appartenant à chaque groupe homogène.

La liste des fichiers générés en bas de la fenêtre contient les informations suivantes :

- **Chemin d'accès** au fichier généré.
- **Déflexion max moyenne** : moyenne des déflexions maximales observées dans le groupe.
- **Écart-type** : dispersion des valeurs de déflexion dans le groupe.
- **Nombre de bassins** : taille du groupe homogène.

Un bouton **Remplacer itinéraire** permet d'utiliser les groupes identifiés comme nouveau point de départ pour une itération ou une analyse ultérieure.

5.3.5 Onglet Structure et Calcul - bassins multiples

Dans le cas du calcul suite à l'importation d'un fichier d'itinéraire des bassins, le principe d'utilisation des fenêtres Structure et Calcul ne change pas. Leur fonctionnement est décrit dans les Sections 5.2.3 et 5.2.4. Il est important de préciser que le bassin utilisé pour la comparaison dans l'onglet Structure et le bassin cible de l'optimisation réalisée dans l'onglet Calcul sera le *Bassin de référence* défini dans l'onglet "Mesures" (voir section 5.3.3) .



Dans l'absence de sélection d'un *bassin de référence* dans l'onglet Mesures, Alizé utilisera comme référence le bassin moyen - bassins construit à partir de la moyenne de déflexions de chaque capteur.

5.3.6 Onglet Itinéraire

► Sélection de *solution retenue* et couches pour modulation

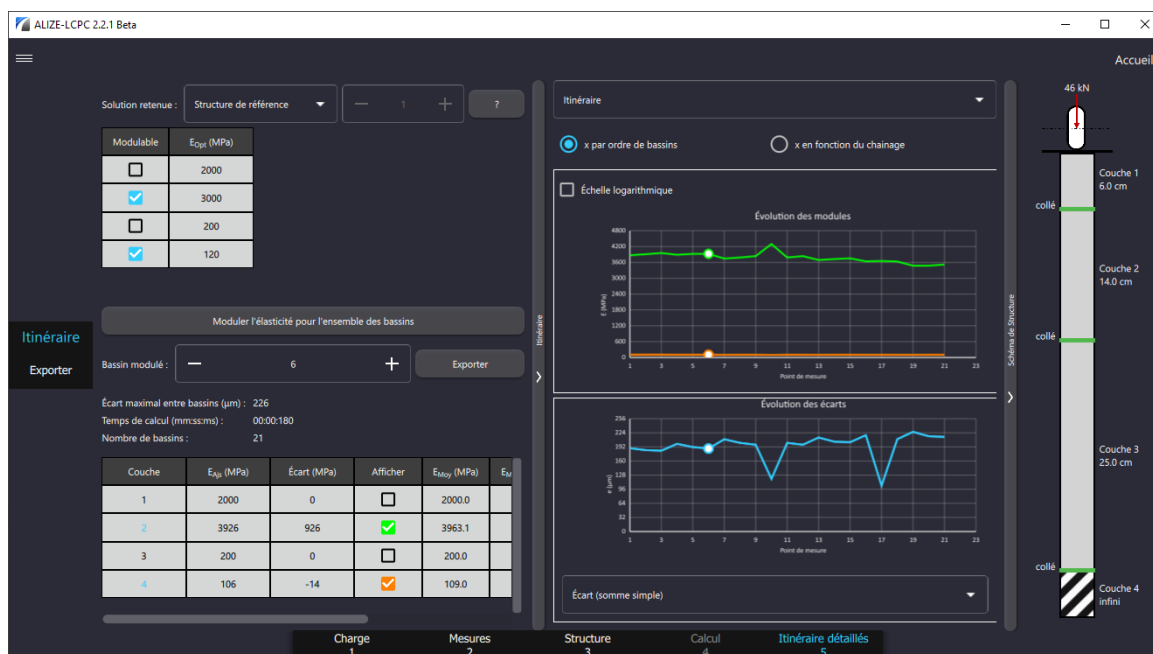


Figure 5.25 - Aperçu globale de la fenêtre Itinéraire

Cet onglet permet de sélectionner les modules d'élasticité (E_{opt}) à prendre en compte pour la modulation lors du calcul de l'ensemble de l'itinéraire.

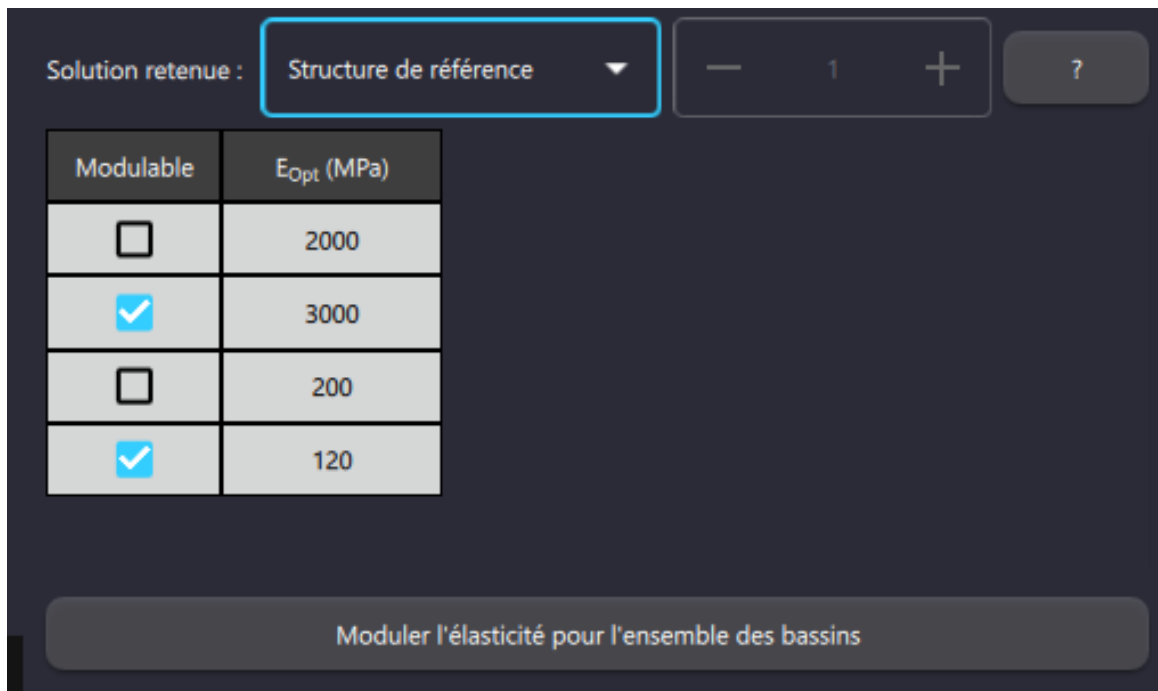


Figure 5.26 - Tableau de sélection de solution retenue et couches pour modulation

- **Solution retenue** : Menu déroulant permettant de choisir la structure qui va servir comme point de départ pour le calcul de chaque bassin de l'itinéraire. Si des calculs ont été réalisés dans l'onglet "Calcul", les solutions calculées seront sélectionnables dans la liste déroulante. La "Structure de référence" est toujours disponible.
- **Boutons + / -** : L'utilisateur peut aussi s'en servir de la saisie numérique pour choisir une solution donnée.
- **Tableau des modules élastiques** : Ce tableau contient les différentes valeurs des modules d'élasticité (E_{opt} , exprimé en MPa), ainsi qu'une case à cocher intitulée **Modulable** - cochez cette case pour activer ou désactiver le variation d'un module d'élasticité donné dans le calcul sur l'itinéraire.
- **Bouton ?** : Affiche une aide contextuelle expliquant le principe de modulation d'élasticité pour l'ensemble de l'itinéraire.
- **Bouton "Moduler l'élasticité pour l'ensemble des bassins"** : Applique les modules sélectionnés à l'ensemble des bassins modélisés dans le projet, garantissant une cohérence des paramètres élastiques à l'échelle globale.

▷ Tableau de synthèse de modulation

La section inférieure de l'onglet permet d'analyser les résultats de modulation d'élasticité, notamment en comparant les valeurs optimisées de modules d'élasticité entre les différentes couches et bassins.

Couche	E_{Ajs} (MPa)	Écart (MPa)	Afficher	E_{Moy} (MPa)	E_{Min} (MPa)	E_{Max} (MPa)	Écart type (MPa)
1	2000	0	<input type="checkbox"/>	2000.0	2000	2000	0.00
2	3926	926	<input checked="" type="checkbox"/>	3963.1	3477	4298	266.24
3	200	0	<input type="checkbox"/>	200.0	200	200	0.00
4	106	-14	<input checked="" type="checkbox"/>	109.0	100	107	5.43

Figure 5.27 - Tableau de visualisation et synthèse de modulation sur un itinéraire

- **Bassin modulé** : Sélection du numéro de bassin à visualiser à l'aide des boutons + et -.
- **Écart maximal entre bassins (μm)** : Indique la plus grande variation mesurée entre les bassins.
- **Temps de calcul (mm:ss:ms)** : Temps nécessaire pour effectuer la modulation des modules d'élasticité.
- **Nombre de bassins** : Total de bassins pris en compte dans la simulation.
- **Bouton Exporter** : Permet d'exporter les données affichées sous un format csv.

▷ Tableau des résultats par couche

Ce tableau récapitule les données de modules d'élasticité pour chaque couche du bassin sélectionné :

- **Couche** : Numéro d'identification de la couche.
- **E_{Ajs} (MPa)** : Valeur ajustée du module d'élasticité pour la couche donnée.
- **Écart (MPa)** : Différence entre la valeur ajustée E_{Ajs} et la valeur de la solution retenue E_{opt} .
- **Afficher** : Case à cocher pour inclure la couche dans les représentations graphiques.
- **E_{moy} (MPa)** : Moyenne du module d'élasticité sur l'ensemble des bassins pour la couche concernée.
- **E_{min} / E_{max} (MPa)** : Valeurs minimale et maximale du module observées pour la couche sur tous les bassins.
- **Écart type (MPa)** : Indique la dispersion des modules d'élasticité pour chaque couche, évaluée par l'écart type.

5.4 Rapport RC

5.4.1 Paramétrage du rapport

Après la réalisation d'une étude dans l'onglet "Calcul" ou "Itinéraire", l'option *Rapport RC* (Figure 5.1) sera accessible, permettant de générer un document de synthèse.

Une fenêtre (Figure 5.28) 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_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.

Préparation du rapport de Rétro-calcul - Itinéraire

Titre du rapport :

ProjetExempleRapport

Auteur du rapport :

Murilo FREITAS

<p>Données initiales à inclure :</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Charge <input checked="" type="checkbox"/> Mesures <input checked="" type="checkbox"/> Structure <input checked="" type="checkbox"/> Graphes des bassins de référence avec écarts 	<p>Résultats à inclure :</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Algorithmes de recherche sélectionnés <input checked="" type="checkbox"/> Solution retenue <input checked="" type="checkbox"/> Graphe des bassins de référence, solutions et écarts <input checked="" type="checkbox"/> Paramètres, structures et graphes pour un itinéraire
---	--

Description de l'étude :

Description exemple

Avertissement :

Avertissement exemple

Conclusion :

Conclusion exemple

Valider et enregistrer sous...
Annuler

Figure 5.28 - Paramétrage du rapport Rétrocalcul

5.4.2 Sections du rapport

Si l'utilisateur a coché Charge, les données issues de l'onglet Charge intégrées dans le rapport (Figure 5.29) sont :

- le type de charge : FWD ;
- le rayon ;
- la pression ;
- et le poids.



Figure 5.29 - Exemple de partie du rapport mécanique liée à l'onglet Charge.

Les données issues de l'onglet Structure et intégrées dans le rapport (Figure 5.30) sont celles du tableau des données de cet onglet, déjà listées plus haut (voir 5.2.3).

Les données issues de l'onglet Mesures sont indiqués par la suite (Figure 5.31). Si les données ont été importées d'un fichier externe, le nom du fichier sera indiqué. Dans le cas d'importation d'un fichier multi-bassins, seulement le bassin de référence sera affiché. Il est indiqué le nombre de capteurs et pour chaque capteur :

- le numéro dans l'ordre ;
- l'abscisse (distance au centre de la charge) en m ;
- et la déflexion en μm .

La partie Résultats (Figure 5.32) du rapport RC décrit la structure indiquée comme "solution retenue". Si un calcul d'optimisation n'a pas été réalisé, la structure de référence sera prise comme "solution retenue". Un tableau fournit pour chaque couche :

- le numéro de la couche avec une indication si la couche était optimisée ou non ;
- le module initial (en MPa) proposé comme première itération ;
- le module optimisé (en MPa) — celui de la solution retenue ;

3 Structure

3-1 Tableau des couches avec état des interfaces

Struct

Nombre de couches : 4

A optimiser	Epaisseur (m)	Nu (-)	Eref (MPa)	Emin (MPa)	Emax (MPa)	Ei/Ei+1 (-)
<input type="checkbox"/>	0.060	0.35	2000	200	10000	
Collé						
<input checked="" type="checkbox"/>	0.140	0.35	3000	300	15000	
Collé						
<input type="checkbox"/>	0.250	0.35	200	20	1000	
Collé						
<input checked="" type="checkbox"/>	Infini	0.35	120	12	600	

Figure 5.30 - Exemple de partie du rapport RC liée à l'onglet Structure

- l'écart entre le module initial et le module optimisé.

Pour les données d'entrée, ainsi que pour les résultats l'utilisateur peut demander l'impression des graphes. La Figure 5.33 représente l'un d'entre eux, sachant qu'ils se présentent tous selon un format similaire.

Enfin, la partie Conclusion (Figure 5.34) reprend exactement et exclusivement le contenu du champ éponyme saisi par l'utilisateur dans la fenêtre de configuration précédant la génération du rapport RC :

2 Mesures

2-1 Liste des mesures

Bassin de référence issue du fichier de mesure exempleItineraire.csv

Nombre de capteurs : 9

N° capteur	Abscisse (m)	Déflexion (µm)
1	0.00	368.8
2	0.30	299.4
3	0.40	268.9
4	0.60	208.9
5	0.90	136.7
6	1.20	88.6
7	1.50	60.5
8	1.80	44.8
9	2.10	36.5

Figure 5.31 - Exemple de partie du rapport RC liée à l'onglet Mesures

4-3 Tableau des modules de la solution retenue

N° couche	Couche optimisée	Module initial (MPa)	Module optimisé (MPa)	Écart (MPa)
1	<input type="checkbox"/>	2000	2000	0
2	<input checked="" type="checkbox"/>	3000	3949	949
3	<input type="checkbox"/>	200	200	0
4	<input checked="" type="checkbox"/>	120	106	-14

Figure 5.32 - Exemple de partie du rapport RC liée aux résultats

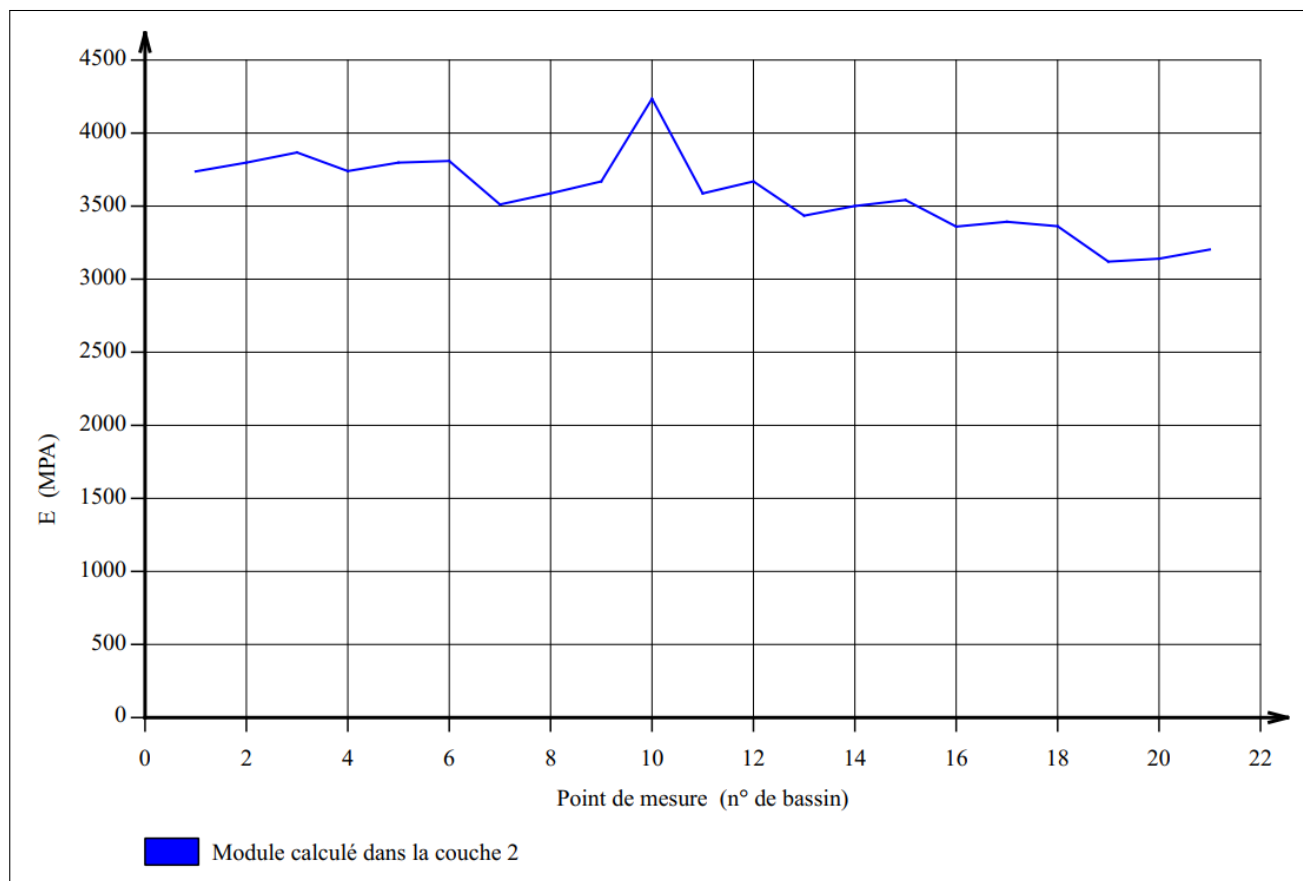


Figure 5.33 - Exemple de graphe Résultats RC

6 Conclusion

Conclusion exemple

Figure 5.34 - Exemple de conclusion du rapport RC

6 Gestion des données

La partie Gestion des données est un module à part qui permet la création et modification des fichiers de données intégrés dans ALIZE-LCPC. Ce module est accessible depuis l'onglet d'accueil. Les fichiers créés et édités dans ces modules sont utilisables dans tous les autres modules d'ALIZE-LCPC (Dimensionnement routier, Aéronautique, Vérification au gel, etc.)

6.1 Gestion des données « matériau »

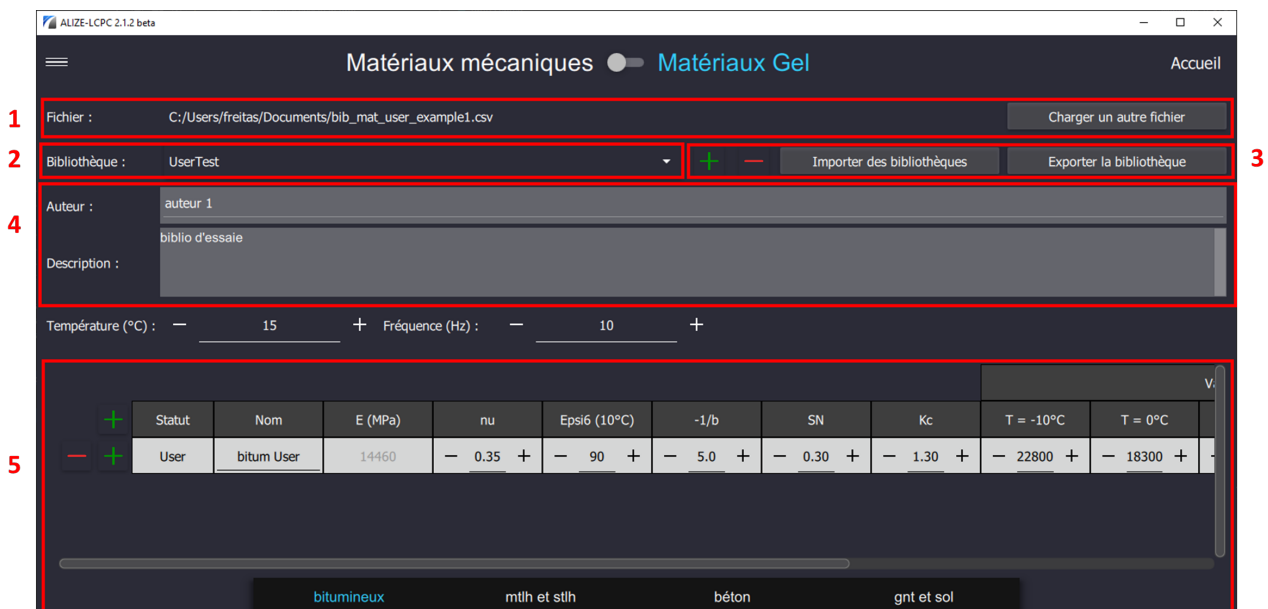




Figure 6.1 - Aperçu de la fenêtre "Gestion des données Matériaux"

L'apparence générale de la fenêtre de **Gestion des données Matériaux**, illustrée par la **Figure 6.1**, est très similaire à la fenêtre « bibliothèque des matériaux » décrite dans la Section 3.1.4. On y retrouve dans cette nouvelle interface des éléments identiques à la précédente (**cadres rouges n°1 et 2**), complétés par d'autres fonctionnalités, notamment :

- Dans le **cadre rouge n°3** - des boutons de modifications des bibliothèques présentes dans le fichier :
 - Le bouton **vert**  permet d'ajouter une nouvelle bibliothèque au fichier chargé (par intermédiaire de la fenêtre affichée dans la **Figure 6.1**).
 - Le bouton **rouge**  permet la suppression de la bibliothèque « utilisateur » affichée.

- Le bouton **Importer des bibliothèques** permet l'importation des bibliothèques d'un autre fichier existant dans le fichier chargé.
- Le bouton **Exporter la bibliothèque** permet de créer un fichier de matériaux contenant seulement la bibliothèque affichée.
- Dans le **cadre rouge n°4** - les informations générales de la bibliothèque affichée (seulement visibles et éditables pour les bibliothèques « utilisateur »);
- Dans le **cadre rouge n°5** - des fonctionnalités supplémentaires permettent la modification des propriétés matériaux ainsi que l'ajout et la suppression des matériaux à la bibliothèque affichée (seulement disponibles pour les bibliothèques « utilisateur »);

Un menu contextuel est accessible depuis le bouton en haut à gauche de cette fenêtre. L'utilisateur peut ici enregistrer les modifications apportées. Toutes les modifications réalisées sur cette fenêtre seront prises en compte seulement lors de l'enregistrement du fichier.

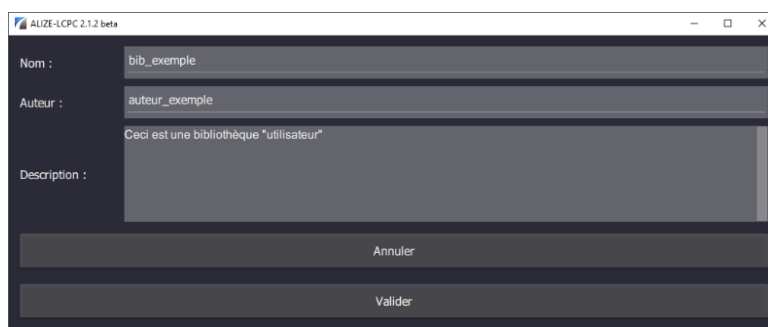




Figure 6.2 - Fenêtre d'ajout de bibliothèque "utilisateur"

6.1.1 Formulaire de création d'un nouveau matériau

En cliquant sur le bouton **vert**  à l'entête du tableau matériau, une fenêtre (Figure 6 3) s'ouvre pour la définition d'un nouveau matériau. L'utilisateur peut aussi opter pour utiliser les propriétés d'un matériau existant comme point de départ en appuyant sur le bouton **vert**  de la ligne du matériau à copier. Un matériau d'une bibliothèque « système » peut être utilisé comme point de départ, mais le nouveau matériau doit impérativement être ajouté à une bibliothèque « utilisateur ».

En haut de cette fenêtre, l'utilisateur doit configurer les propriétés de base du nouveau matériau : la bibliothèque auquel il doit être ajouté, son nom et éventuelle description, et le type du matériau - ce dernier détermine le restant de propriétés qui doivent être définies dans le formulaire. Le nom doit être unique à la bibliothèque.

Dans la section « Propriétés mécaniques », l'utilisateur doit définir les valeurs du module d'élasticité et du coefficient de poisson. À noter que, pour les matériaux bitumineux, plusieurs valeurs de module d'élasticité doivent être renseignées aux températures demandées. Un outil permettant de multiplier ou diviser le module (ou ensemble des modules pour les bitumineux) par un coefficient est disponible au bas de cette partie.

Dans la section « Propriétés de dimensionnement », les coefficients des lois de fatigue doivent être saisies. En surveillant les champs-texte, des infobulles informent l'utilisateur des plages de valeur acceptables pour chaque champ de saisie.

Dans la section « Propriétés gel », l'utilisateur peut, soit, choisir un matériau « gel » existant qui correspond au nouveau matériau, soit opter pour créer un nouveau matériau « gel ». Le matériau « gel » correspondant doit impérativement être du même type et dans la même bibliothèque que le nouveau matériau et plusieurs matériaux mécaniques peuvent correspondre à un seul matériau gel.

À la fin du formulaire, l'utilisateur peut annuler la création du nouveau matériau ou valider son ajout à la bibliothèque choisie.

ALIZE-LCPC 2.1.2 beta

Bibliothèque: UserTest

Type: Bitumineux

Nom : eb-bbme2_variante

Description : Enrobé bitumineux bb à module élevé classe 2

Propriétés mécaniques

E(MPa) : 11000 nu : 0.35

E(-10°C, 10Hz) : 19500 E(0°C, 10Hz) : 18200 E(10°C, 10Hz) : 14630

E(20°C, 10Hz) : 7370 E(30°C, 10Hz) : 3800 E(40°C, 10Hz) : 2300

Traitement sur les modules E(T, f) : 2 Multiplier Diviser

Propriétés de dimensionnement

Epsi6(µm) : 100 -1/b : 5 SN : 0.25

Kc : 1.1

Propriétés gel

Catégorie gel : Nouveau

ρ (kg/m3) : 2350 W (%) : 1 λ_{ng} (W/m.°C) : 2

λ_g (W/m.°C) : 2.1

Annuler

Vallider

Figure 6.3 - Fenêtre de définition d'un nouveau matériau

Références

- [1] *Auscultation des chaussées souples aéronautiques au HWD* | STAC. url : <https://www.stac.aviation-civile.gouv.fr/fr/publications/auscultation-chaussees-souples-aeronautiques-au-hwd> (visité le 09/12/2024).
- [2] D. M. Burmister. « The theory of stresses and displacements in layered systems and applications to the design of airport runways ». In : *Proceedings of the Highway Research Board* 123 (1943), p. 126-148.
- [3] Cerema. *Diagnostic et conception des renforcements de chaussées*. fr. Mai 2016.
- [4] Commission de normalisation. *NF P 98-086. Dimensionnement structurel des chaussées routières - Applications aux chaussées neuves*. AFNOR, 2019.
- [5] Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (France). *Conception et dimensionnement des structures de chaussée : guide technique*. fr. 1994.

A Chargement d'une bibliothèque personnelle de matériaux

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.

A.1 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).

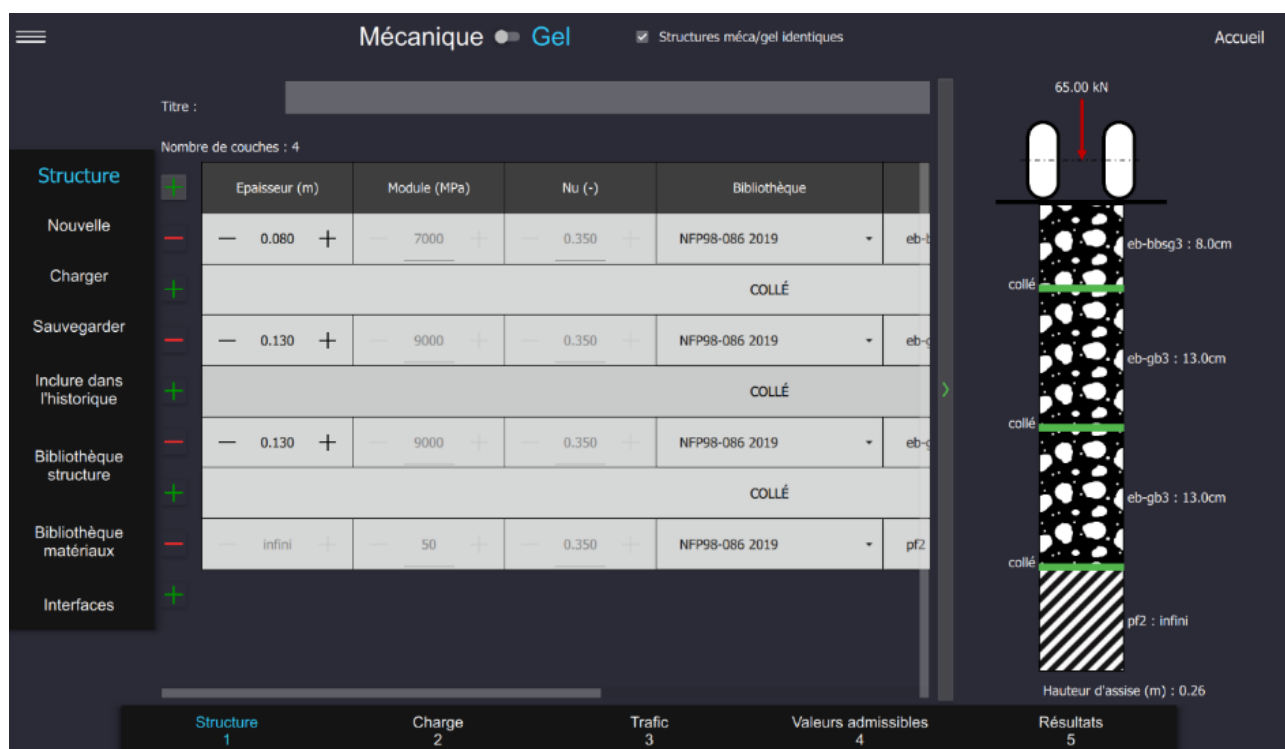


Figure A.1 - Ouverture de la fenêtre de visualisation des bibliothèques de matériaux

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.

Bibliothèque : Catalogue 1998 Charger

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

Statut	Nom	E (MPa)	nu	Epsi6 (10°C)	-1/b	SN	Sh (m)	Kc	T= -10°C	T= 0°C
system	bb	5400	0.35	100	5	0.25	standard	1.1	14800	12000
system	bbdr	3000	0.35	-	-	-	standard	-	8220	6670
system	bbme	9000	0.35	-	-	-	standard	-	24670	20000
system	gb1	7000	0.35	70	5	0.4	standard	1.3	18000	14000
system	gb2	9300	0.35	80	5	0.3	standard	1.3	23000	18800
system	gb3	9300	0.35	90	5	0.3	standard	1.3	23000	18800
system	gb4	11000	0.35	100	5	0.3	standard	1.3	27200	22240
system	eme1	14000	0.35	100	5	0.3	standard	1	30000	24000
system	eme2	14000	0.35	130	5	0.25	standard	1	30000	24000

bitumineux
mth et sth
béton
gnt et snt

Figure A.2 - Chargement d'une bibliothèque utilisateur

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

Nu (-)	Bibliothèque	Matériau
0.350 +	autre	eb-bbsq3 ▾
	Catalogue 1998	
0.350 +	NFP98-086 2011	eb-gb3 ▾
	NFP98-086 2019	
0.350 +	User Library 1	eb-gb3 ▾
	User Library 2	
0.350 +	user98-086 2019	pf2 ▾

Figure A.3 - Choix de la bibliothèque utilisateur User Library 1

A.2 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 ;
- ν le coefficient de poisson ;
- Sigma6 la valeur moyenne de l'amplitude de contrainte, conduisant à une durée de vie en fatigue par flexion de 10^6 cycles, avec une probabilité de 50 %, sur un matériau d'âge supérieur ou égal à 360 jours (NF P98-233-1) ;

- Epsi6 la valeur moyenne d'amplitude de déformation conduisant à la rupture conventionnelle de l'échantillon sous 10^6 cycles avec une probabilité de 50 % (réduction de 50 % de la force initiale) ;
- $1/b$ avec b la pente de la loi de fatigue du matériau déterminée à partir du même essai par linéarisation bi-logarithmique entre 10^5 et 10^7 cycles ($-1 < b < 0$) ;
- b pour le calcul de ϵ_z adm ;
- à faible trafic pour le calcul de ϵ_z adm ;
- à fort trafic pour le calcul de ϵ_z adm ;
- S_n l'écart type sur le logarithme décimal du nombre de cycles entraînant la rupture par fatigue ;
- S_h l'écart type sur l'épaisseur totale des couches de matériaux d'assises mises en œuvre ;
- K_c le coefficient de calage ;
- K_d le coefficient de discontinuité ;
- $E(-10^\circ\text{C})$ le module d'Young à -10°C , 10 Hz ;
- $E(0^\circ\text{C})$ le module d'Young à 0°C , 10 Hz ;
- $E(10^\circ\text{C})$ le module d'Young à 10°C , 10 Hz ;
- $E(20^\circ\text{C})$ le module d'Young à 20°C , 10 Hz ;
- $E(30^\circ\text{C})$ le module d'Young à 30°C , 10 Hz ;
- $E(40^\circ\text{C})$ le module d'Young à 40°C , 10 Hz ;
- la description du matériau ;
- R_o la masse volumique sèche ;
- W la teneur en eau massique ;
- L_{dang} le facteur de conductivité thermique à l'état non gelé ;
- L_{dag} le facteur de conductivité thermique à l'état gelé.

A.3 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).

Paramètre	Bitumineux	Béton	MTLH	Gnt et sols non traités	STLH
Nom du matériau	X	X	X	X	X
Type du matériau	bitum	Beton	trait	gntSo	soTrait
Nom de la bibliothèque	X	X	X	X	X
E (MPa)		X	X	X	X
ν (-)	X	X	X	X	X
Σ_6 (MPa)		X	X		X
ε_6 (μ)	X				
1/b	X	X	X		X
b				X	
À faible trafic				X	
À fort trafic				X	
S_n	X	X	X		X
S_h	(3)	(4)	X		X
K_c	X	X	X		X
K_d			X		X
$E_{-10^\circ C}$ (MPa)	X				
$E_{0^\circ C}$ (MPa)	X				
$E_{10^\circ C}$ (MPa)	X				
$E_{20^\circ C}$ (MPa)	X				
$E_{30^\circ C}$ (MPa)	X				
$E_{40^\circ C}$ (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⁾
L_{dang} (W/m.°C)	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾
L_{dag} (W/m.°C)	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾

Table A.1 - Résumé des paramètres selon le type de matériau

(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 S_h 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 S_h 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*).

B Versions

B.1 Logiciel

Numéro de version	Sortie	Principales Corrections/Évolutions
2.0.0 à 2.0.3		Module Dimensionnement routier avec vérification au gel
2.0.4	juin-19	Première version commerciale

Numéro de version	Sortie	Principales Corrections/Évolutions
2.0.5	mars-20	<p>Corrections :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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 0.1 m <p>Évolutions :</p> <ul style="list-style-type: none"> • mise à jour des guides "CAM", "Risque" et "Interface" avec la nouvelle norme NF P98-086 2019 • ajout d'un guide pour les chaussées "Hors section courante" selon NF P98-086 2019 • 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

Numéro de version	Sortie	Principales Corrections/Évolutions
2.0.6	oct-20	Définition de la bibliothèque utilisateur. Diverses corrections et évolutions
2.0.8	2021	<p>Corrections :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Calcul de QPF pour indices gél = 0 • Mise à jour correcte des rigidités lors du passage d'un matériau bitumineux à non bitumineux <p>Évolutions :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Module Dimensionnement aéronautique • Nouvelles informations sur le rapport gel • Avertissement lors de l'enregistrement
2.1.0	2022	<p>Corrections :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Problèmes divers des calculs de l'outil Valeurs admissibles • calcul de risque pour les mtlh, trafic avec accroissement nul • Nouvelle base d'avions (Ficav) à jour <p>Évolutions :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Module aéronautique ACR/PCR • Nouveau système de gestion de demande de licences
2.1.1	2023	<p>Corrections :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Correction de saisie des structures du module ACR/PCR <p>Évolutions :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ajout des interfaces « Guide théorique »

Numéro de version	Sortie	Principales Corrections/Évolutions
2.1.2	2024	<p>Corrections :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Correction de calcul des avions multi-atterrisseurs fuselage • Problème de calcul inverse des bétons <p>Évolutions :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Module gestion des bibliothèques utilisateur matériaux • Réglage des paramètres par défaut • Possibilité d'unifier les valeurs de température et fréquence du trafic aéronautique • Contrôle de saisies numériques du logiciel
2.2.0	2025	Nouveau module Rétrocalcul

B.2 Documentation

Numéro de version	Sortie	Corrections/Évolutions
2.0.1	août-20	Module Dimensionnement routier
2.0.2	nov-20	Annexe A4 - Bibliothèque utilisateur
2.1	mai-21	Vérification au gel
2.2	févr-24	Gestion des bibliothèques matériaux
2.3	févr-24	Module Rétrocalcul

Table B.2 - Historique des versions

C Chargement d'un fichier de mesures FWD en format Microsoft Acces (.mdb)

▷ 1 - Télécharger et installer driver de lecture .mdb

L'utilisation de fichiers .mdb pour le chargement d'un itinéraire nécessite la présence du driver Microsoft Access ODBC Driver (64bit).

Pour l'installer, se diriger au site de Microsoft a l'adresse : <https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=54920> (disponible au 09/09/2025) cliquer sur Télécharger et sélectionner la version 64 bit "accessdatabaseengine_X64.exe".

Vous pouvez ensuite lancer l'installateur et suivre les instructions qui s'affiche.



Pour vérifier la présence de ce driver sur votre machine :

Lancer le gestionnaire de source de données ODBC 64-bits à partir de "*Panneau de configuration > Système et sécurité > Outils d'administration > Sources de données ODBC (64-bits)*"

Dans la section Pilotes ODBC, assurez-vous de la présence de "Microsoft Access Driver (*.mdb *.accdb)".

▷ 2 - Lecture à partir des données exportés d'un fichier .mdb

Si l'installation du driver n'est pas possible ou opérationnelle, la deuxième solution consiste à importer des fichiers texte depuis Microsoft Access. Trois fichiers sont à générer ; Sessions, Stations, Drops.

Ouvrez les fichiers à importer dans Microsoft Access. Sélectionner à gauche la table que vous voulez importer. Cliquer sur 'Données externes', fichier texte.

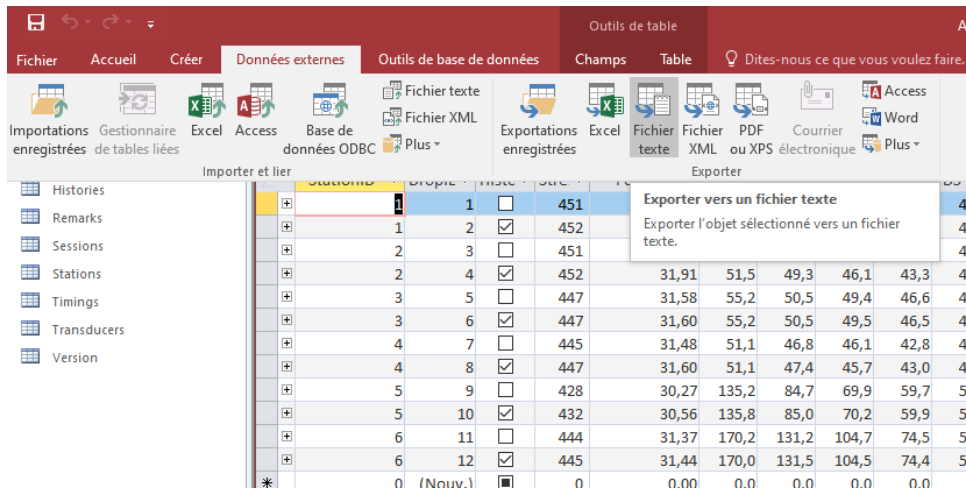


Figure C.1 - Fichier itinéraire .mdb

Choisissez où enregistrer le fichier, attention, les trois fichiers doivent être dans le même dossier. Leurs noms ne doivent pas changer : Sessions.txt ; Stations.txt ; Drops.txt

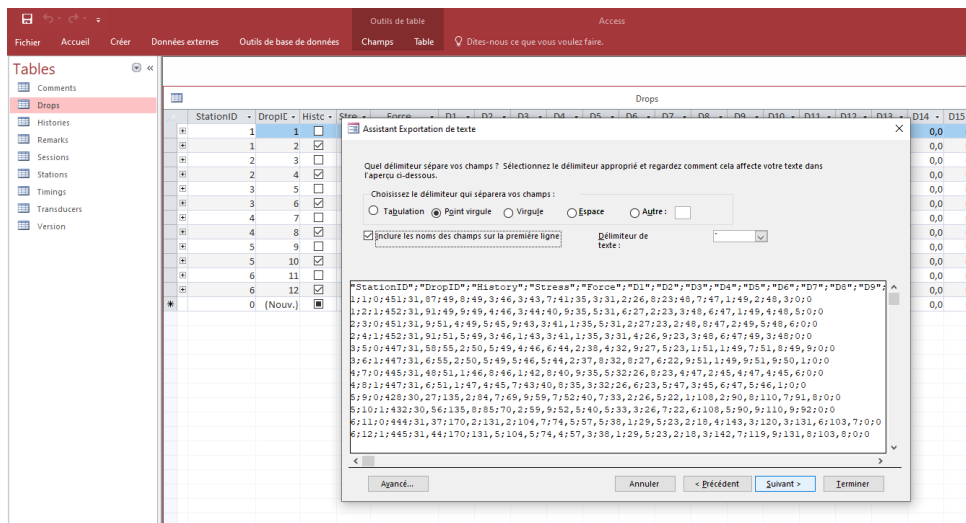


Figure C.2 - Exportation de fichier itinéraire .mdb

Cliquer sur 'OK', assurer vous que 'Délimité' est coché puis cliquer sur suivant.

Cliquer sur 'Suivant'. Cliquer sur 'Terminer'.

Répéter le processus avec les 2 autres fichiers

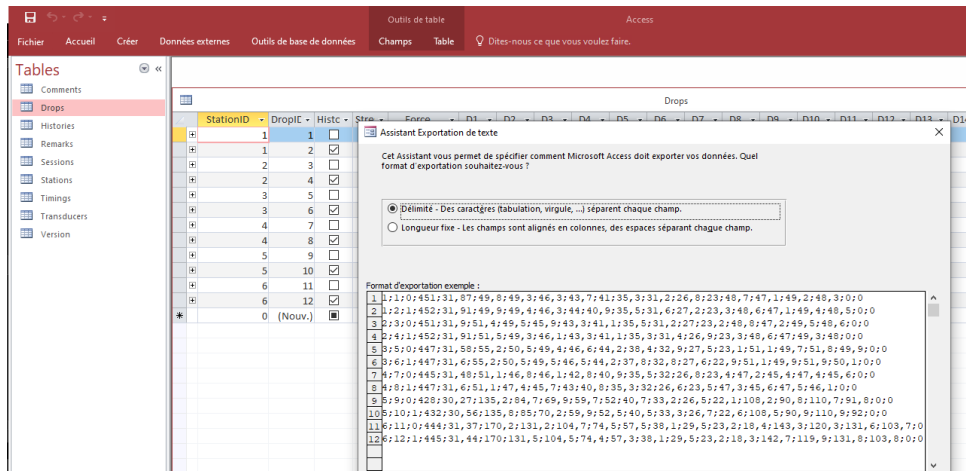


Figure C.3 - Fichier itinéraire .mdb

Une fois les trois fichiers générés, vous pouvez les **importer sur Alizé2**. Dans la fenêtre de dialogue de sélection de fichier, cliquer sur 'Fichier (*.fdw *.F25 *.csv *.mdb), sélectionner 'mdb importation txt (Sessions.txt)' et ouvrir Sessions.txt.

Liste des acronymes

CAM coefficient d'agressivité moyenne du poids lourd par rapport à l'essieu de référence. 12, 30-32, 44, 45, 47

FWD Falling Weight Deflectometer. 90, 104

GNT Grave Non Traitée. 36, 47

IFSTTAR Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux. 9

LCPC Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. 9

MTLH Matériaux Traités aux Liants Hydrauliques. 36, 70, 72

PL poids lourd - véhicule dont le poids total autorisé en charge (PTAC) est supérieur à 35 kN. 42-44, 57

STAC Service Technique de l'Aviation Civile. 9

STLH Sols Traités aux Liants Hydrauliques. 37

TMJA Trafic moyen journalier annuel. 30

Glossaire - Dimensionnement routier

- A Coefficient de déformation verticale** Coefficient de la loi de vérification de critère sur la déformation verticale admissible. 47
- E** Module d'Young. 29
- S_N Écart-type sur le nombre de cycles** Écart-type sur le logarithme du nombre de cycles entraînant la rupture par fatigue. 46
- S_h Écart-type sur l'épaisseur** Écart-type sur l'épaisseur de la couche de matériaux mise en œuvre (m). 45-47
- σ_6** Contrainte pour laquelle la rupture par traction en flexion sur éprouvette de 360 jours est obtenue pour 10^6 cycles (MPa). 47
- σ_t** Contrainte en traction/compression maximale dans le plan horizontal (MPa). 47, 49, 50
- σ_z** Contrainte vertical maximale (MPa). 49, 50
- ε_6 Déformation de rupture au bout de 10^6 cycles** Déformation pour laquelle la rupture conventionnelle en flexion sur éprouvette est obtenue au bout de 10^6 cycles avec une probabilité de 50%, à 10 °C et 25 Hz. 46, 47
- ε_t** Déformation en traction/compression maximale dans le plan horizontal. 45, 49, 50, 52
- ε_z** Déformation verticale maximale. 47, 49, 50
- b pente de fatigue** La pente de la courbe de fatigue du matériau exprimée sous forme d'une loi bi-logarithmique. 46, 47
- k_c** Coefficient de calage. 46
- k_d Coefficient de discontinuité** Coefficient tenant compte des discontinuités des structures de chaussées rigides et de l'incidence des gradients thermiques pour les chaussées en béton. 47
- k_r Coefficient de risque** Coefficient ajustant la valeur de déformation ou de contrainte admissible en fonction du risque de calcul et des facteurs de dispersion. 46
- k_s Coefficient de ajustement à la couche sous-jacente** Coefficient de prise en compte d'hétérogénéités locales de portance de la couche non liée sous-jacente. 46
- H_assise** Hauteur d'assise. 45, 46
- Trafic équivalent** Nombre équivalent d'essieux de référence correspondant au trafic poids lourds cumulé sur la durée de calcul retenue. 44, 47

Glossaire - Vérification au gel

h_n épaisseur des matériaux non gélifs de la plate-forme (m). 70, 72

h_p épaisseur des matériaux peu gélifs de la plate-forme (m). 72

Ia Indice de gel admissible de la chaussée (°C.jour). 66, 67, 75, 76, 81, 82

IAtm Indice de gel atmosphérique (°C.jour). 66

Ir Indice de gel de l'hiver de référence (°C.jour). 66-68, 75, 81

Is Indice de gel de surface (°C.jour). 76

Qg Quantité de gel transmise aux couches de sol gélives [(°C.jour)^{1/2}]. 69, 70, 73, 75, 82

Qm Quantité de gel transmise aux couches de sol gélives, correspondant à un surcroît de dommage limité de la structure de chaussée [(°C.jour)^{1/2}]. 69, 73-75, 82

Qng Protection thermique apportée par les matériaux non gélifs de la couche de la couche de forme et du sol support [(°C.jour)^{1/2}]. 69, 70, 73, 75, 82

Qpf Quantité de gel admissible au niveau de la plate-forme [(°C.jour)^{1/2}]. 61, 74-78, 81, 82

SGn Classe de sensibilité au gel "matériaux non-gélif". 70-74, 81

SGp Classe de sensibilité au gel "matériaux peu gélif". 70-72, 81

SGt Classe de sensibilité au gel "matériaux très gélif". 70-72, 82

Tpf Température en profondeur (°C). 76

Zgel profondeur de gel (m). 76, 82

Zpf profondeur de la plate-forme (m). 61, 62, 64, 68, 81