



IFSTTAR

INSTITUT FRANÇAIS
DES SCIENCES
ET TECHNOLOGIES
DES TRANSPORTS,
DE L'AMÉNAGEMENT
ET DES RÉSEAUX

Alizé-Lcpc



Manuel d'utilisation

Version 1.5

© IFSTTAR - 2016

Distributeur exclusif :



8 quai de Bir Hakeim 944 10 Saint-Maurice France
Tél : +33 (0)1 49 76 12 59 - www.itech-soft.com

Table des matières

1. Introduction à la notice d'utilisation	7
1.1. Objet du logiciel Alizé-Lcpc Routes et cadre général d'utilisation	8
1.2. Documents de référence	9
1.3. Architecture générale d'Alizé-Lcpc	10
1.4. Configuration informatique requise, protection contre le piratage	12
2. Installation d'Alizé-Lcpc	13
2.1. Installation automatique par Autorun	14
2.2. Installation manuelle	14
2.3. Remarques	15
3. Lancement du programme	17
3.1. Démarrage de l'application	18
3.2. Configuration personnelle d'Alizé-Lcpc	20
3.2.1. Configuration générale :	21
3.2.2. Préférences Module routier et Module Charges spéciales :	23
3.2.3. Préférences Module Gel-Dégel :	23
3.2.4. Préférences Module Rétro-calculs :	24
3.2.5. Préférences Module Aéronautique :	24
3.3. Fichiers générés par l'application	24
3.4. Naviguer entre les fenêtres Structure mécanique, Charges spéciales et Gel	24
3.5. Remarques d'ordre général	25
4. Alizé-mécanique : données concernant la structure de chaussée	27
4.1. Principe de modélisation mécanique de la structure de chaussée	28
4.2. Créer et modifier les données Structures	29
4.3. Quelques précisions et conseils pour la saisie des données Structure	30
4.4. Consultation et importation des fiches du Catalogue Lcpc-Setra 1998	33
4.5. Enregistrement et lecture des fichiers de données	34
5. Alizé-mécanique : données concernant le chargement du modèle	37
5.1. Définition de la charge de référence	38
5.2. Définition des charges spéciales	39
5.3. Charges spéciales pseudo-rectangulaires	42

6. Alizé-mécanique : lancement des calculs	45
6.1. Les deux modes de calcul mécanique	46
6.2. Commandes pour le lancement des calculs mécaniques	46
6.3. Lancement d'un calcul en mode Grille	48
7. Alizé-mécanique : résultats des calculs	51
7.1. Résultats des calculs de type standard	52
7.2. Résultats des calculs de type Grille	56
7.3. Résultats des calculs de type Grille-séca – Profils transversaux de dommage	60
7.3.1. Données nécessaires au calcul de l'endommagement.	61
7.3.2. Calcul de Kc pour les plateformes logistiques.	63
7.3.3. Présentation des résultats en dommages.	64
8. Alizé-mécanique : calculs des valeurs admissibles	67
8.1. Utilisation de la feuille Calcul des valeurs admissibles	68
8.2. Précisions concernant la bibliothèque de matériaux Alizé-mécanique	70
8.2.1. Description de la bibliothèque	70
8.2.2. Utilisation de la bibliothèque	70
9. Alizé-gel : Préparation des données pour les calculs	73
9.1. Description du problème traité	74
9.2. Quelques précisions et conseils pour la saisie des données	77
9.3. Définition des conditions initiales et des conditions aux limites	79
9.4. Calcul de la quantité Q _{pf} de gel admissible par la plate-forme	81
9.5. Précisions concernant la bibliothèque de matériaux Alizé-gel	82
9.5.1. Description de la bibliothèque	82
9.5.2. Utilisation de la bibliothèque	82
10. Alizé-gel : Lancement des calculs et sortie des résultats	83
10.1. Commandes pour le lancement des calculs Alizé-gel	84
10.2. Résultats des calculs Alizé-gel	84
11. Alizé-rétrocalcul : Données, lancement des calculs et sortie des résultats	91
11.1. Description du problème traité	92
11.2. Préparation des données du module Alizé-rétrocalcul	93
11.3. Alizé-rétrocalcul : résultats des calculs	99

12. Annexe 1 : Principes du dimensionnement mécanique des chaussées	103
12.1. Cadre général du dimensionnement rationnel des chaussées	104
12.2. Démarche générale du dimensionnement rationnel des chaussées	104
12.2.1. Le choix du type de structure et des matériaux qui la composent	104
12.2.2. La détermination des sollicitations admissibles dans les différents matériaux	104
12.3. Le modèle de calcul mécanique	107
13. Annexe 2 : Principes de la vérification au gel-dégel des chaussées	109
13.1. Généralités	110
13.2. Comportement des sols au gel et au dégel	110
13.3. Place de la vérification au gel/dégel dans l'étude de dimensionnement	111
13.4. Quelques définitions et notations	112
13.5. Démarche générale de la vérification au gel-dégel	112

1. Introduction à la notice d'utilisation



1.1. Objet du logiciel Alizé-Lcpc Routes et cadre général d'utilisation

Le présent manuel d'utilisation d'Alizé-Lcpc présente les possibilités et les fonctionnalités du logiciel, et décrit ses modalités de mise en œuvre afin d'en permettre une prise en main rapide et aisée. Alizé-Lcpc est développé par le Département Matériaux et Structures de l'Ifsttar, qui en a confié la distribution commerciale exclusive à la société Itech.

Dans la suite de cette notice, le logiciel Alizé-Lcpc sera également désigné par les termes Alizé-Lcpc et Alizé. Il est admis que l'utilisateur du programme est formé à l'utilisation du système d'exploitation Windows de Microsoft Corporation, et qu'il en maîtrise les différentes interfaces et périphériques associés.

Alizé-Lcpc Routes met en œuvre la méthode rationnelle de dimensionnement des structures de chaussées développée par le Lcpc et le Sétra. Cette méthode constitue la méthode réglementaire de dimensionnement des chaussées du réseau routier national français. Elle a également été adoptée par de nombreuses autres maîtrises d'ouvrage en France et à l'Étranger. Les bases de la démarche du dimensionnement rationnel sont exposées en annexes A1 (dimensionnement mécanique des chaussées) et A2 (vérification au gel-dégel des chaussées).

Outre la mise en œuvre du modèle rationnel de dimensionnement des chaussées routières et autoroutières, le logiciel comporte diverses fonctionnalités permettant la réalisation de dimensionnements spéciaux, qui ne sont pas directement encadrés par le référentiel technique actuel. Il peut s'agir, par exemple, du dimensionnement de chaussées pour charges spéciales des plateformes industrielles ou logistiques.

Le module Alizé-Aéronautique, introduit en version 1.5 d'Alizé-Lcpc, permet de mettre en œuvre la méthode de dimensionnement des chaussées aéronautiques souples (bitumineuses), décrite dans le guide : « Méthode Rationnelle de Dimensionnement des Chaussées Aéronautiques Souples » (STAC, 2014). La connaissance de ce guide (est donc nécessaire à l'utilisation du logiciel. En particulier, pour le choix des différents paramètres de calcul (caractéristiques des matériaux, durées de dimensionnement, risque de calcul, coefficients de calage, etc..) l'utilisateur devra se reporter au guide du STAC.

Dans sa version intégrale, le logiciel comprend cinq modules principaux :

- Le module de calcul mécanique s'appuyant sur la détermination des sollicitations et des dommages, créés par les charges du trafic dans les matériaux de chaussées, désigné module Alizé-mécanique.
- Le module de vérification au gel-dégel des structures de chaussées, désigné module Alizé-gel.
- Le module Charges spéciales
- Le module de calcul inverse des modules d'élasticité des différentes couches, à partir des bassins de déflexion mesurés sur la chaussée en service, désigné module Alizé-rétrocalcul.
- Le module Alizé-Aéronautique

En fonction de la demande de l'utilisateur, Alizé-Lcpc est distribué dans sa version intégrale ou dans une version réduite ne comportant que certains modules. La présente notice d'utilisation est commune à toutes les versions possibles de distribution. Le manuel d'utilisation du module Alizé-Aéronautique, qui peut être utilisé de manière totalement indépendante, est proposé dans un document complémentaire séparé.

1.2. Documents de référence

Les documents de référence à consulter en priorité pour une présentation approfondie de la méthode de dimensionnement des structures de chaussées selon la démarche rationnelle Lcpc-Sétra sont :

- Le guide technique Conception et dimensionnement des structures de chaussées, Lcpc-Sétra 1994, qui présente dans le détail les principes du dimensionnement rationnel des chaussées.
- Le Catalogue des structures types de chaussées neuves, Lcpc-Sétra 1998.
- Le guide technique Spécifications des variantes, Sétra 2003.
- La norme NF P98-086 Dimensionnement structurel des chaussées routières, application aux chaussées neuves, Afnor, Octobre 2011.

Ces documents décrivent les modalités d'application du dimensionnement rationnel aux structures de chaussées du réseau routier national français.

Le moteur de calcul des modules Alizé-mécanique (charges routières classiques ou charges spéciales), Alizé-Aéronautique et Alizé-rétrocalcul met en œuvre la solution semi-analytique développée par D.M. Burmister : *The theory of stresses and displacements in layered systems and applications to the design of airport runways, Proceedings of the Highway Research Board, Vol.23, 1943*. Elle permet le calcul des déplacements et sollicitations internes dans les structures multicouches semi-infinies à comportement élastique, linéaire et isotrope, créés par une charge verticale, statique et uniforme, appliquée sur un disque circulaire à la surface du modèle.

Le module Alizé-gel permet la simulation numérique du champ de températures dans un massif unidimensionnel multicouche en régime de changement de phase eau – glace (modèle de Fourier étendu au régime bi-phases non gelé- gelé). Ce modèle et ses modalités d'application sont décrits dans le guide technique Lcpc-Sétra 1994 et la norme NF P98-086 cités précédemment. Le moteur de calcul du module Alizé-gel est issu du logiciel Gel1d du Lcpc, application sous MS-Dos non maintenue depuis 1999. Son algorithme de résolution a été rendu plus précis et plus rapide. Il a de plus été complété par une interface spécifique, non incluse dans l'application Ms-Dos initiale, facilitant la saisie des données nécessaires aux calculs, la présentation graphique de leurs résultats, et comportant divers écrans d'aide pour la mise en œuvre de la méthode de vérification au gel-dégel.

1.3. Architecture générale d'Alizé-Lcpc

L'architecture générale d'Alizé-Lcpc a été conçue pour faciliter autant que faire se peut la mise en œuvre de la méthode rationnelle de dimensionnement des chaussées Lcpc-Sétra. Cet objectif conduit à articuler le programme autour des fonctionnalités suivantes :

Module Alizé-mécanique et charges spéciales

- Définition de la structure de chaussée : épaisseur des couches, paramètres d'élasticité des différents matériaux et conditions d'interface.
- Définition éventuelle de variantes de structures, portant sur les valeurs d'épaisseur ou de module d'élasticité d'une ou de plusieurs couches de matériaux.
- Définition du chargement appliqué à la surface : charge de référence ou autre chargement désigné par le terme chargement spécial.
- Détermination des sollicitations admissibles par les matériaux.
- Réalisation du calcul mécanique à l'aide du moteur de calcul Alizé-mécanique. Deux modes de calculs sont proposés :
 - calcul simple des sollicitations créées par la charge dans les différentes couches de matériaux. Ce mode de calcul s'applique au dimensionnement routier standard, la charge étant alors constituée, normalement, du jumelage de référence de 65 kN (ou autres valeurs dans un contexte de dimensionnement différent du contexte français).
 - calcul des dommages individuels et cumulés créés par les charges du trafic dans les différentes couches de matériaux. Ce mode de calcul s'applique au dimensionnement des chaussées spéciales dont le trafic, non assimilable à la charge de référence routière, est composé de charges aux configurations uniques ou multiples, qui sont alors explicitement modélisées et prises en compte dans le dimensionnement.
- Assistance et aide pour le choix pratique des hypothèses de calcul et des valeurs numériques à donner aux différents paramètres, en accord avec le guide technique Conception et dimensionnement des structures de chaussées de 1994 et le Catalogue des structures 1998, ou la norme Dimensionnement structurel des chaussées routières neuves NF P98-086 depuis la version 1.4 du logiciel.
- Gestion d'une bibliothèque de matériaux Alizé-mécanique. Elle regroupe l'ensemble des matériaux standard dont les caractéristiques pour les calculs mécaniques sont définies par le guide Lcpc-Sétra, le catalogue et la norme mentionnés plus haut. Cette bibliothèque peut également inclure des matériaux personnels définis par l'utilisateur.

Module Alizé-gel

- Définition de la structure de chaussée : épaisseur des couches, paramètres thermiques des matériaux, niveau de la plate-forme.
- Définition des conditions initiales et des conditions aux limites : conditions de la méthode officielle Lcpc-Sétra ou autres conditions appelées conditions spéciales.
- Réalisation du calcul thermique à l'aide du moteur de calcul Alizé-gel.
- Détermination de la quantité de gel admissible par la plate-forme.
- Présentation des résultats du calcul thermique.
- Assistance et aide pour le choix pratique des hypothèses de calcul et des valeurs numériques à donner aux différents paramètres, en accord avec le guide technique Conception et dimensionnement des structures de chaussées de 1994 et la norme NF P98-086.
- Gestion d'une bibliothèque de matériaux Alizé-gel. Elle regroupe l'ensemble des matériaux standard dont les caractéristiques pour les vérifications au gel-dégel sont définies par le guide Lcpc-Sétra, le catalogue et la norme mentionnés plus haut. Cette bibliothèque peut également inclure des matériaux personnels définis par l'utilisateur.

Module Alizé-rétrocalcul

- Définition de la structure de chaussée : épaisseur des couches, modules d'élasticité initiaux et coefficients de Poisson des différents matériaux, conditions d'interface entre couches.
- Définition du chargement appliqué à la surface de la chaussée : roue simple, jumelage, ou charge circulaire uniforme reproduisant l'impact du FWD - Falling Weight Deflectometer.
- Définition des bassins de déflexion mesurés sur la chaussée en service.
- Réalisation du calcul mécanique inverse à l'aide du moteur de calcul Alizé-mécanique calculs inverses.
- Présentation des résultats du rétrocalcul, sous la forme de modules d'élasticité rétrocalculés.

Module Alizé-Aéronautique

- Définition de la structure de chaussée type souple ou bitumineuse : épaisseur des couches, paramètres d'élasticité des différents matériaux. Les conditions d'interface sont collées.
- Description du trafic de calcul à partir d'une base de données (base FICAV du STAC), qui rassemble les silhouettes de la plupart des avions courants, circulant sur les aéroports français, en précisant le nombre de passages de chaque avion, la température et la vitesse associées à ces passages, ainsi qu'un paramètre de balayage, qui caractérise la dispersion latérale des positions de passage de chaque avion.
- Réalisation du calcul mécanique à l'aide du moteur de calcul Alizé-mécanique. Deux modes de calculs sont proposés :
 - Le dimensionnement est basé sur un concept de dommage cumulé. En effet le trafic est composé de différents avions, et les positions de passage des atterrisseurs de ces avions sont différentes. Pour cette raison, le dimensionnement ne peut pas être réalisé pour une valeur unique de déformation maximale, calculée en un point unique. Il est nécessaire de tenir compte des positions des différents avions (et du balayage transversal), et de calculer des courbes de niveau de dommage, qui représentent la variation de la valeur du dommage en fatigue D suivant y (c'est-à-dire dans le plan perpendiculaire au passage des charges). Ces courbes de niveau de dommage sont d'abord calculées séparément pour chaque avion, puis cumulées pour l'ensemble du trafic considéré. Le dimensionnement de la structure est considéré satisfaisant lorsque la courbe de dommage cumulé atteint une valeur égale à 1 pour au moins une valeur de position transversale y .
 - Un mode de calcul itératif est également proposé. Celui-ci permet de rechercher automatiquement les épaisseurs de couches de chaussées conduisant à un dimensionnement satisfaisant (dommage égal à 1 en au moins un point).
- Assistance et aide pour le choix pratique des hypothèses de calcul et des valeurs numériques à donner aux différents paramètres, et la vérification des solutions de calcul, en accord avec le GAN (Guide d'application des normes « Enrobés hydrocarbonés et enduits superficiels pour chaussées aéronautiques ») et le guide : « Méthode Rationnelle de Dimensionnement des Chaussées Aéronautiques Souples » (STAC, 2014).
- Gestion d'une bibliothèque de matériaux Alizé-mécanique. Elle regroupe l'ensemble des matériaux standard dont les caractéristiques pour les calculs mécaniques sont définies par le guide STAC mentionné plus haut. Cette bibliothèque peut également inclure des matériaux personnels définis par l'utilisateur.

1.4. Configuration informatique requise, protection contre le piratage

La configuration minimale requise est la suivante :

- * Processeur 2.4Ghz minimum
- * 2Go de mémoire RAM minimum et 4 Go conseillés
- * Carte graphique 512Mo de RAM.
- * 2 Go de libre sur disque dur pour l'installation
- * Système d'exploitation WINDOWS SEVEN, 8 et 10, 32bits ou 64bits.
- * 1 port USB libre
- * 1 Connexion Ethernet pour une installation réseau
- * Imprimantes et traceurs supportés par le système d'exploitation WINDOWS

La protection d'ALIZE-Lcpc vis à vis du piratage est réalisée par une clé physique monoposte ou réseau, fournie avec le logiciel. La clé de protection doit obligatoirement être installée sur le port USB du micro-ordinateur (installation individuelle) ou du poste serveur (installation sur un réseau), préalablement à toute utilisation du programme.

La clé doit rester branchée sur le poste pendant l'utilisation du logiciel ALIZE-Lcpc.

Le fichier licence Codes_ALIZE_1.5.xml est à copier/coller dans le répertoire suivant : C:\Program Files (x86)\Common Files\itech\Codes.

2. Installation d'Alizé-Lcpc



Alizé-Lcpc

2.1. Installation automatique par Autorun

Le logiciel Alizé-Lcpc est téléchargeable sur le site Web de la société itech. Selon le cas, la commande de téléchargement, ou le lancement du Setup déclenche automatiquement l'ouverture d'un menu d'accueil via une procédure Autorun. L'utilisateur accède ainsi à la fenêtre Installation de Alizé-Lcpc. Depuis celle-ci, il doit lancer directement l'installation du logiciel à l'aide du fichier Alize-Lcpc-v151-setup.exe. Il doit également lancer l'installation du driver de la clé de protection (clé monoposte ou clé réseau). L'installation du driver de clef est obligatoire pour permettre l'utilisation du logiciel Alizé-Lcpc.

2.2. Installation manuelle

L'installation manuelle se réalise en trois phases :

Phase 1 : Installation du logiciel Alizé-Lcpc Routes

- Se placer à l'aide de l'explorateur Windows sur le CD-Rom d'installation d'Alizé-Lcpc.
- Se positionner dans le répertoire \install\.
- Double clic sur l'icône du fichier Alize-Lcpc-v151-setup.exe pour lancer l'installation d'Alizé-Lcpc.
- Mener à terme l'installation en renseignant les différents choix proposés.

Phase 2 : Installation du pilote de la clé de protection

L'installation se fait depuis le répertoire correspondant au type de clé utilisé :

- Pour une clé monoposte :
 - Se positionner dans le répertoire \Key\ Sentinel_LDK_Run-time_setup \ du CD-Rom d'installation.
 - Double clic sur l'icône du fichier HASPUserSetup.exe pour lancer l'installation du driver de clé.
- Pour une clé réseau :
 - Se positionner dans le répertoire \Key\HASP_License_Manager\ du CD-Rom d'installation.
 - Double clic sur l'icône du fichier Imsetup.exe pour lancer l'installation du driver de clé.
 - Il est également nécessaire d'effectuer l'adressage du serveur de réseau. Pour cela, ouvrir à l'aide d'un éditeur de texte (Bloc-notes, WordPad ou autre) le fichier nethasp.ini contenu dans le répertoire d'installation par défaut de l'exécutable du logiciel, à savoir : C:\Program Files\Alize-Lcpc Routes\nethasp.ini (sous Windows XP) ou C:\Program Files (x86)\Alize-Lcpc Routes\nethasp.ini (sous Windows Seven), ou autre chemin personnalisé éventuellement spécifié à l'installation du programme (option non recommandée). Puis modifier de la manière suivante la ligne NH_SERVER_ADDR = 127.0.0.1 :
 - Remplacer 127.0.0.1 par l'adresse IP de votre poste serveur.
 - Enregistrer les modifications et répétez l'opération sur tous les postes clients.

Phase 3 : Installation du code "Codes ALIZE 1.5.xml"

Le fichier, fourni avec la procédure d'installation du programme, Codes_ALIZE_1.5.xml est à copier/coller dans le répertoire suivant : C:\Program Files (x86)\Common Files\itech\Codes.

2.3. Remarques

Options d'installation type

Il est recommandé d'accepter l'ensemble des options d'installation type proposées par le programme d'installation, tant en situation d'installation automatique qu'en situation d'installation manuelle.

Mise à jour d'une version antérieure du programme

Deux procédures de mise à jour sont proposées, selon la version d'Alizé-Lcpc concernée :

- Mise à jour d'une version d'Alizé-Lcpc antérieure à la version V1.5, déjà installée sur le PC. Il est recommandé de désinstaller préalablement et complètement cette ancienne version. Cette désinstallation s'effectue via l'option Supprimer tous les composants installés de la procédure d'installation InstallShield d'Alizé, ou via l'application Ajouter ou supprimer des programmes du panneau de configuration Windows (menu Démarrer\Paramètres). Puis on procède alors normalement à l'installation de la nouvelle version, selon la démarche décrite ci-dessus au §2.1 et §2.2.

Mise à jour de la version V1.5 ou d'une version ultérieure. Il est inutile de procéder à la désinstallation préalable de cette version déjà installée sur le PC. La mise à jour des différents composants du programme Alizé et la suppression éventuelle des composants à remplacer sont automatiquement effectuées par la procédure d'installation de la nouvelle version, ou de mise à jour du programme suivant le cas.

3. Lancement du programme



3.1. Démarrage de l'application

Le fichier exécutable du programme Alizé-Lcpc est une application 32 bits, normalement rangée dans le dossier **C:\Program Files\Alize-Lcpc Routes** (Windows XP) ou **C:\Program Files(x86)\Alize-Lcpc Routes** (Windows Seven). Le lancement du programme s'effectue :

- Via le menu Démarrer de Windows, sous-menu Programmes ou Tous les programmes.
- Ou par double clic sur l'icône d'Alizé-Lcpc Routes affichée sur le bureau de l'ordinateur PC.
- Ou par simple clic sur le raccourci de lancement rapide de la barre de tâches. Le programme alors s'ouvre sur sa feuille d'accueil (figure 3.1).

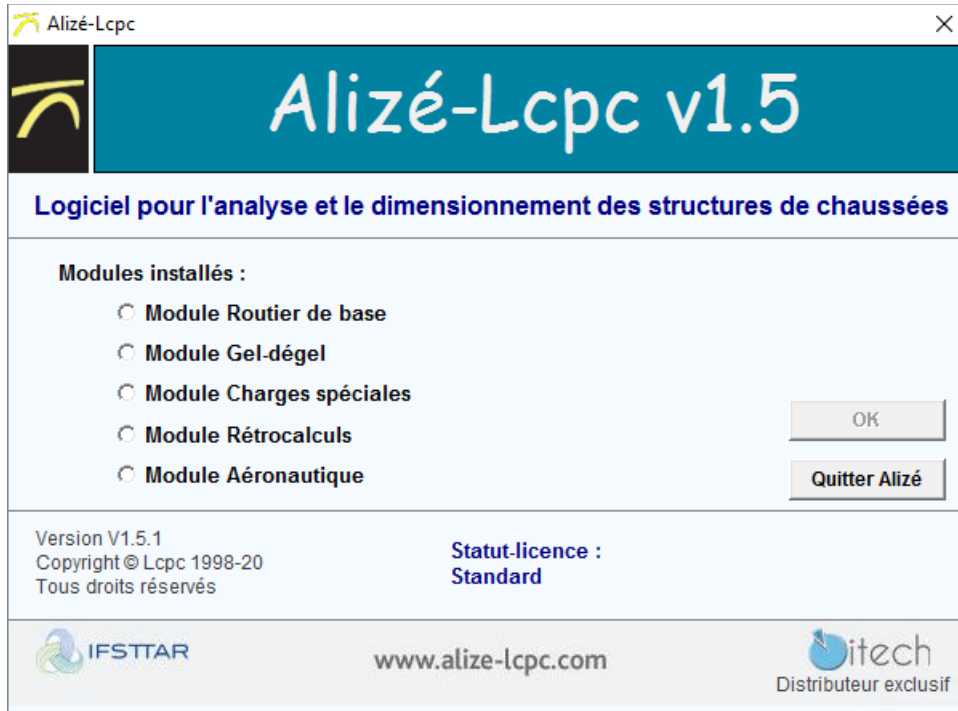


Figure 3.1 : Fenêtre d'accueil Alizé-Lcpc Routes

3. Lancement du programme

La sélection d'un module puis un clic sur le bouton « OK » permet de passer à la fenêtre suivante, qui sera :

- Soit la fenêtre **Astuce du jour** qui affiche à l'écran des conseils utiles à la bonne prise en main et à la bonne utilisation du programme, sur la base d'un tirage au sort ou d'un défilement continu de ces astuces pré- enregistrées (figure 3.2). L'affichage ou non de cette fenêtre **Astuce du jour** est une option personnelle réglée par la commande **Configurer Alizé** de la barre de menu principal, cf. §3.2.

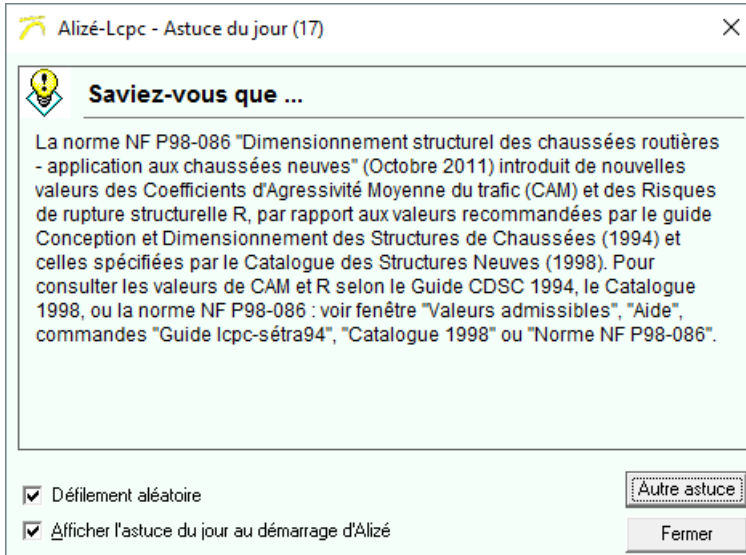


Figure 3.2 : Fenêtre **Astuce du jour** à l'ouverture du programme Alizé, exemple

- Soit la fenêtre principale du module choisi, dans le cas où l'option d'affichage de la fenêtre **Astuce du jour** a été désactivée. Cette fenêtre principale ne comporte alors que la barre de menu principal assurant la gestion des différentes fonctionnalités offertes par le logiciel (figure 3.3).

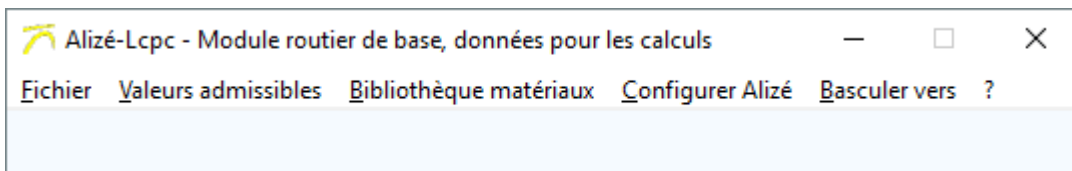


Figure 3.3 : Fenêtre principale et barre de menu principal d'Alizé-Lcpc

3. Lancement du programme

Après le lancement d'un module du logiciel Alizé, la commande "Ctrl + R" permet d'afficher la liste des exemples types disponibles dans le logiciel ainsi que la liste des raccourcis. (figure 3.4)

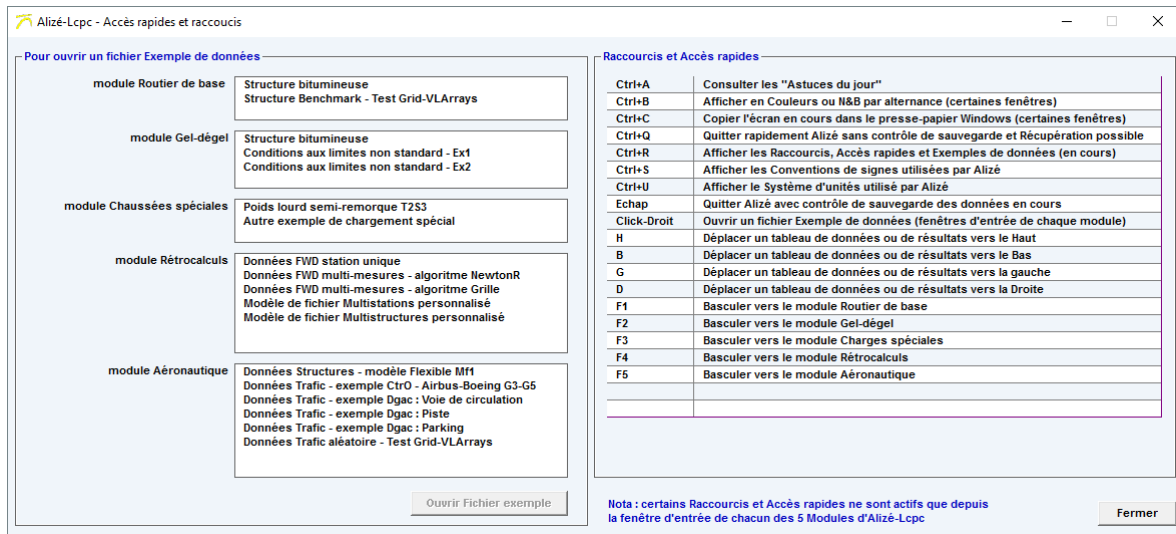


Figure 3.4 : Liste des accès rapides et raccourcis claviers disponibles dans Alizé-Lcpc

3.2. Configuration personnelle d'Alizé-Lcpc

A la première utilisation d'Alizé-Lcpc, il est recommandé de procéder à la configuration du programme selon les préférences de l'utilisateur, à l'aide de la commande **Configurer Alizé** de la barre de menu principal (figure 3.5). Les différentes options et paramètres de configuration personnelle pourront être modifiés à la demande de l'utilisateur, lors des utilisations ultérieures du logiciel.

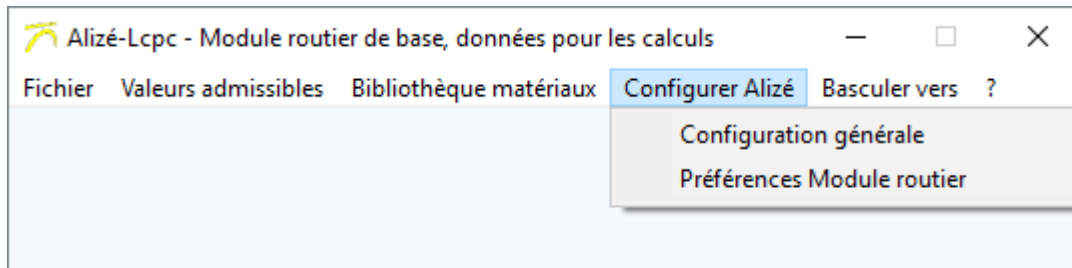


Figure 3.5 : Menu **Configurer Alizé** de la barre de menu principal

Dans cette version V1.5 du logiciel, la configuration du logiciel est séparée en deux menus : La configuration générale, et la définition des préférences relatives au module en cours d'utilisation. Elle inclut les choix d'options et de paramètres ci-dessous :

3.2.1. Configuration générale :

Choix de la langue

Il s'effectue via le sous-menu **Langue** permettant de fixer la langue utilisée pour l'ensemble des entrées-sorties et des aides (écrans, fichiers et imprimante), à savoir : Français ou Anglais (figure 3.6) dans cette version V1.5 d'Alizé.



Figure 3.6 : Menu Configurer Alizé, choix de la langue

Bibliothèque des matériaux standards

- Choix de la bibliothèque des matériaux standards : guide Conception et Dimensionnement des Chaussées (1994), ou norme NF P98-086 (2011).

Température équivalente des matériaux hydrocarbonés

- Choix de la température par défaut pour l'utilisation des matériaux bitumineux.

Options d'affichage et chemins d'accès

- L'option **Fenêtres élargies** permet d'augmenter automatiquement les dimensions largeur et hauteur de certaines fenêtres, afin de résoudre divers problèmes de lisibilité constatés en particulier sous le système d'exploitation Windows-Vista, ou en cas d'utilisation de polices de caractères larges.
- L'option Astuce du jour active ou non l'ouverture de la fenêtre **Astuce du jour** à chaque nouvelle utilisation du programme.
- L'option **Click jaune Alizé** permet de modifier la couleur des cellules à cliquer du même nom (cf. §3.5 ci-après), certaines couleurs trop vives n'étant pas ou mal reproduites par les vidéoprojecteurs courants.
- L'option **Mes documents Alizé-Lcpc** permet de modifier le dossier d'hébergement du répertoire Alize-Lcpc my files, qui est réservé à l'archivage, par le programme, des paramètres de configuration personnelle. Ce dossier est normalement le dossier **Mes documents** de l'utilisateur. Le choix de rediriger ce dernier dossier vers un autre répertoire peut être rendu obligatoire, dans le cas de montage du dossier **Mes documents** sur la partition d'un disque externe éventuellement déconnecté du poste de travail. Le dossier **Alize-Lcpc my files** est exclusivement réservé à la gestion de l'archivage des paramètres de configuration personnelle et de fichier de récupération des données par logiciel : l'utilisateur ne doit pas y accéder en utilisation normale du programme.
- L'option Bibliothèque mécanique des matériaux personnels permet de modifier le dossier d'hébergement de la bibliothèque des matériaux créés par l'utilisateur. Le dossier par défaut est le dossier **C:\Users\Nom utilisateur\Documents\Alize-Lcpc my files\Libraries** de l'utilisateur.
- L'option Bibliothèque Gel-dégel des matériaux personnels permet de modifier le dossier d'hébergement de la bibliothèque des matériaux créés par l'utilisateur pour le module Gel-dégel. Le dossier par défaut est le dossier **C:\Users\Nom utilisateur\Documents\Alize-Lcpc my files\Libraries** de l'utilisateur

3. Lancement du programme

Autres options de configuration imposées d'Alizé

Ces options imposées sont les suivantes :

- Unités (figure 3.7) : sauf cas particuliers pour lesquels les unités sont explicitement précisées, les unités par défaut obligatoirement utilisées sont :
 - Module Alizé-mécanique : m, MN et unités associées. En particulier, les modules d'Young et les pressions s'expriment donc en MPa. Noter toutefois que les déflexions s'expriment en centièmes de mm (mm/100).
 - Module Alizé-gel : mètre (m), Kilogramme (Kg), Watt (W), degré Celsius (°C), Jour (j) et unités associées.

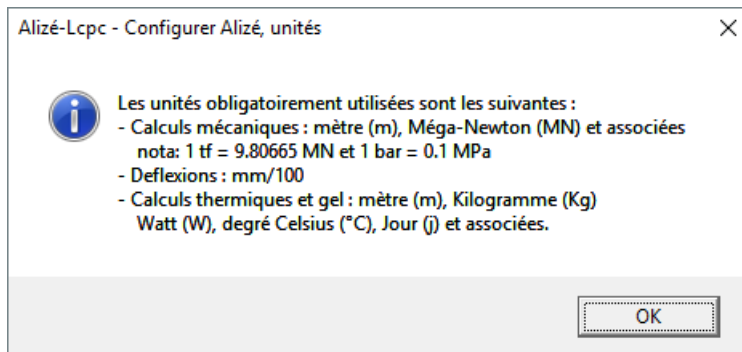


Figure 3.7 : Menu **Configurer Alizé**, sous-menu **Unités**

- Conventions de signes (figure 3.8) :
 - Extensions (déformations) et tractions (contraintes) comptées négativement (résultats des calculs mécaniques).
 - Déflexion comptée positivement dans le sens de la gravité.
 - Toutes valeurs admissibles exprimées positivement.

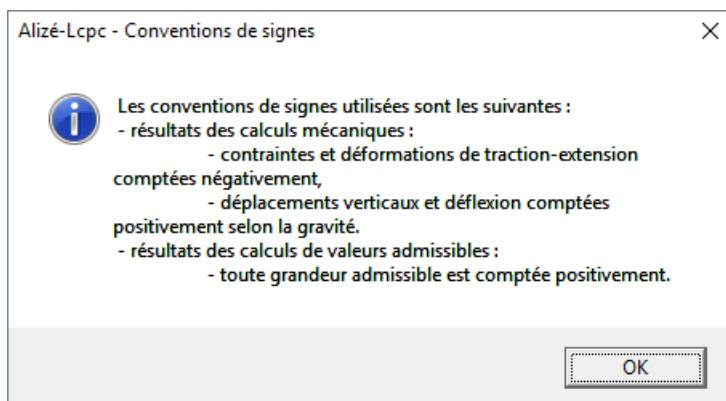


Figure 3.8 : Menu **Configurer Alizé**, sous-menu **Conventions de signes**

- Option pays (figure 3.9). Rappelle les références réglementaires dans le contexte de calcul français.

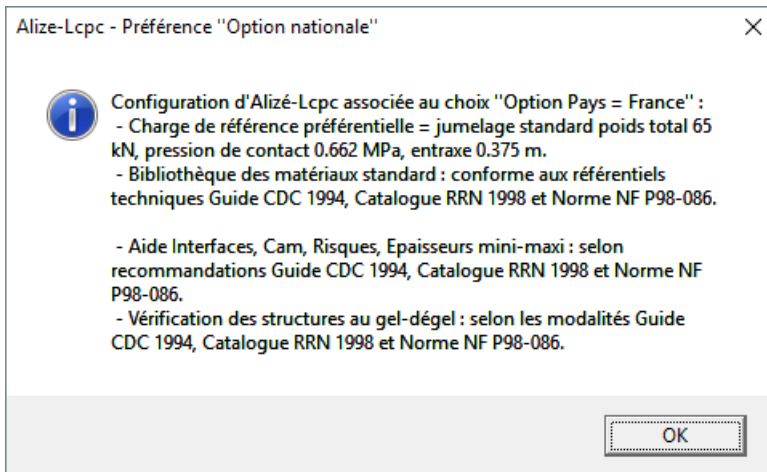


Figure 3.9 : Menu **Configurer Alizé**, sous-menu **Option Pays**

3.2.2. Préférences Module routier et Module Charges spéciales :

Choix de la charge de référence

Il s'effectue via le sous-menu **Charge de référence**, dont les différentes options sont détaillées en partie 5, §5.1 du présent manuel.

Options personnelles pour le module Alizé-mécanique

- Le type d'interface par défaut : collée, semi-collée ou glissante.
- La valeur du coefficient de Poisson par défaut.
- Le mode d'impression des résultats de calcul en cas de variantes (cf. §4.3), et le mode d'impression des valeurs admissibles.

3.2.3. Préférences Module Gel-Dégel :

Options personnelles pour le module Alizé-gel

L'unique option à fixer concerne l'affichage ou non des résultats de la méthode simplifiée de calcul de la relation $latm = f(Qtpf)$ (figure 3.10, cf. §10.2).

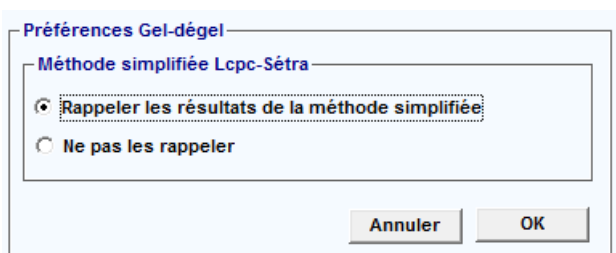


Figure 3.10 : Menu **Configurer Alizé**, Réglages des options personnelles Vérification Gel-dégel, option Rappel des résultats de la méthode simplifiée

3.2.4. Préférences Module Rétro-calculs :

Options personnelles pour le module Rétro-calculs

- Choix de l'algorithme de résolution : Newton-Raphson ou calcul grille
- Paramètre du test de convergence pour Newton-Raphson : automatique ou critère à définir (en mm/100).

3.2.5. Préférences Module Aéronautique :

Options personnelles pour le module Aéronautique

Il est possible de modifier certains paramètres par défaut :

- Le trafic cumulé : fixé à 36500 passages
- Le balayage transversal : la valeur fixée est de 1.5m. Cette valeur est celle indiquée par le paragraphe 3.1.3.2 du guide de dimensionnement (STAC, 2014) pour les sections circulées à vitesse élevée.
- La vitesse des avions : la valeur fixée est de 100 km/h. Cette valeur est celle indiquée par le paragraphe 3.1.3.1 du guide de dimensionnement (STAC, 2014) pour les sections circulées à vitesse élevée.
- La durée de service : la valeur fixée est de 10 ans. Le paragraphe 3.1.1 du guide de dimensionnement (STAC, 2014) précise que la période de calcul est généralement de 10 ans.
- Prise en compte de l'atterrisseur de nez.
- Rappel des préférences.

3.3. Fichiers générés par l'application

En utilisation courante, les données nécessaires à la réalisation des calculs sont consignées dans des fichiers de données gérés par la commande **Fichier** de la barre de menu principal. La commande **Fichier** gère à la fois :

- Les fichiers de données Structure pour les calculs mécaniques : extension **.dat**, cf. Partie 4 de la notice.
- Les fichiers de données Chargement spécial : extension **.chg**, cf. Partie 5 de la notice.
- Les fichiers de données Structure pour le calcul de vérification au gel-dégel : extension **.dag**, cf. Partie 9 de la notice.
- Les fichiers de données Structure-Chargement-Déflexion pour les calculs inverses : extension **.mwd**, cf. Partie 11 de la notice.

Les résultats des calculs pourront être sauvegardés dans des fichiers au format Ascii suivants :

- Les fichiers des valeurs admissibles calculées : extension **.adm**, cf. Partie 8 de la notice.
- Les fichiers de résultats du calcul mécanique : extension **.res**, cf. Partie 7 de la notice.
- Les fichiers de résultats de la vérification au gel-dégel : extension **.res**, cf. §10.2 de la notice.
- Les fichiers de résultats des calculs inverses : extension **-retro.res**, cf. Partie 11 de la notice.

3.4. Naviguer entre les fenêtres Structure mécanique, Charges spéciales et Gel

Il est possible que deux ou trois des feuilles Définition de la structure de chaussée (module Alizé-mécanique), Définition d'un chargement spécial (module Alizé-mécanique) et Définition d'une structure pour la vérification au gel-dégel (module Alizé-gel), par exemple, soient simultanément actives. Seule une de ces trois fenêtres peut être affichée à l'écran, alors que l'autre ou les deux autres reste(nt) obligatoirement invisible(s). La commande Basculer vers de la barre de menu principal assure le basculement entre les différentes fenêtres simultanément actives.

3.5. Remarques d'ordre général

Cases à cliquer pour les menus déroulants

Alizé-Lcpc utilise à différentes reprises des cases à cliquer facilement identifiables par leur couleur jaune vif (figure 3.11), ou autre couleur selon la configuration personnelle de cette option (cf. §3.2). Un simple clic sur ces cellules à l'aide de la souris déclenche le déroulement automatique d'options ou de valeurs, dont le choix est proposé à l'utilisateur. Une cellule de ce type sera désignée **Case à cliquer**, ou **Cellule à cliquer** dans la suite de ce manuel.

- Structure de base

	épais. (m)	module (MPa)	Nu	matériau type
collé	0.08	7000	0.35	eb-bbsg3
collé	0.13	9000	0.35	eb-gb3
collé	0.13	9000	0.35	eb-gb3
collé	infini	50	0.350	pf2

	épais (m)	module (MPa)	Nu	no2	no3	no4	no5
collé	0.08	7000	0.35	0.080	0.080	0.080	0.080
collé	0.13	9000	0.35	0.140	0.140	0.150	0.150
collé	0.13	9000	0.35	0.130	0.140	0.140	0.150
collé	infini	50	0.350	infini	infini	infini	infini

Figure 3.11 : Exemples de cases à cliquer de couleur jaune vif (ou autre couleur selon configuration personnelle) pour le déroulement d'un choix d'options ou de valeurs

Messages d'aides, d'avertissement et de signalement d'anomalie et d'erreur de données

La simplicité d'utilisation et l'ergonomie cognitive du logiciel Alizé-Lcpc permettent de s'affranchir d'une aide en ligne en tant que telle. Cependant, divers messages d'aide, d'avertissement, de signalement d'anomalie ou d'erreur apparaissent régulièrement à l'écran. Ces messages visent à guider l'utilisateur dans la mise en œuvre normale du programme, en complément à la présente notice d'utilisation au format Pdf. Attention : quoique très peu nombreux, les signalements de problèmes par les utilisateurs montrent clairement que la très grande majorité des difficultés rencontrées dans l'utilisation du programme s'explique par une lecture approximative, trop hâtive et incomplète, voire inexistante, de ces différents messages portés à l'écran.

De même, la fenêtre **Astuce du jour** affiche à l'écran, à chaque ouverture du programme, des conseils utiles à la bonne prise en main et à la bonne utilisation d'Alizé-Lcpc Routes. La ressource Astuces du jour est susceptible de mises à jour périodiques. Il est donc recommandé de ne pas désactiver cette option, et de prêter attention aux messages qu'elle comporte.

Pour vérifier les modules d'Alizé-Lcpc installés sur le PC

L'accès aux différents modules du programme (modules Mécanique, Gel et Rétrocalcul) est géré par la clé de protection, qui est codée en fonction des droits d'utilisation acquis par l'utilisateur.

Pour éditer la liste des modules installés :

- Barre de menu principal, menu "?" **A propos** : fenêtre **Alizé - A propos** : figure 3.12.

3. Lancement du programme

Séparateur décimal utilisé pour les entrées-sorties du logiciel

Le séparateur décimal utilisé pour l'entrée des valeurs numériques est obligatoirement celui pour lequel le système Windows a été configuré sur le PC utilisé (cf. Panneau de configuration/Options régionales et linguistiques/symbole décimal). Ce même séparateur décimal sera utilisé par le programme pour les affichages à l'écran de toute valeur numérique, et l'impression printer de ces mêmes valeurs.

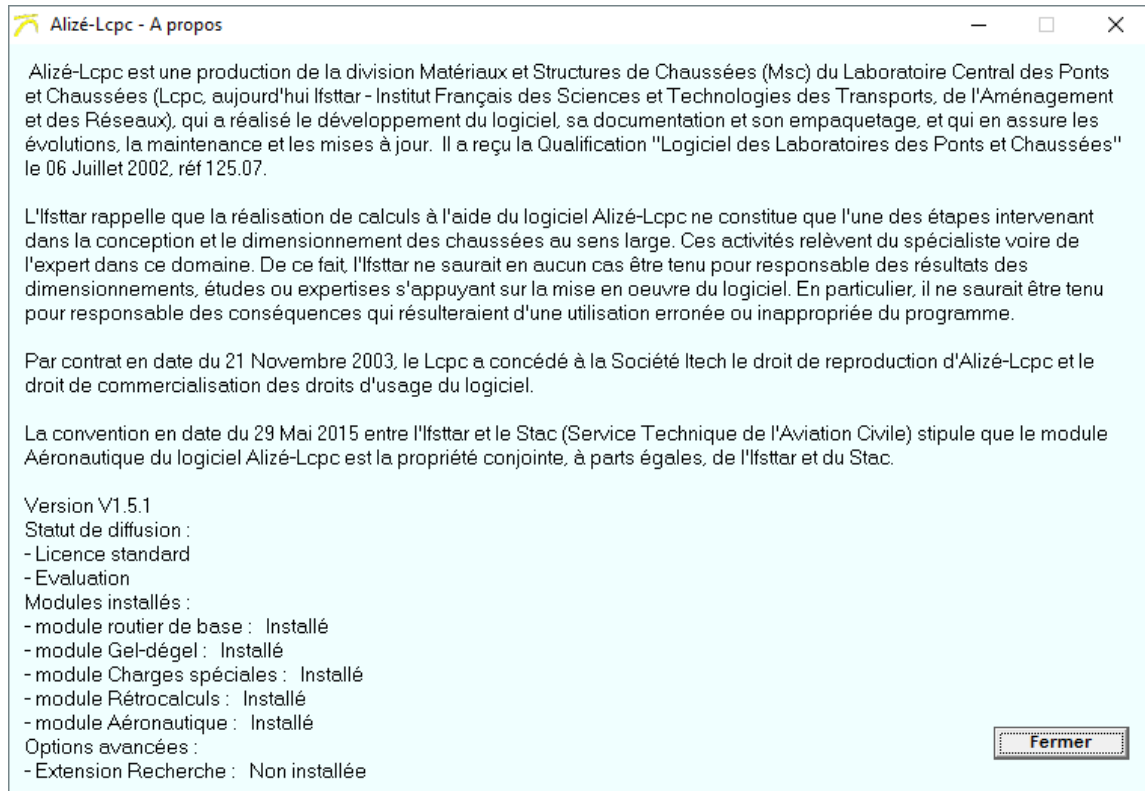


Figure 3.12 : Fenêtre **A propos** - affichage des modules Alizé-Lcpc installés

4. Alizé-mécanique : données concernant la structure de chaussée



4.1. Principe de modélisation mécanique de la structure de chaussée

La modélisation de la chaussée pour les calculs mécaniques selon la démarche du dimensionnement rationnel s'appuie sur la représentation de la structure par un massif multicouche semi-infini à comportement élastique, isotrope et linéaire. Les différentes couches de matériau constituant la structure possèdent une épaisseur constante, et leur extension dans le plan horizontal XoY est infinie. De plus, l'extension selon la direction verticale ZZ de la couche inférieure du massif multicouche, représentant en général le substratum ou le sol support, est supposée infinie. La description du fonctionnement mécanique des différentes couches constituant la chaussée se ramène finalement aux paramètres suivants :

- L'épaisseur H.
- Le module d'Young E du matériau.
- Le coefficient de Poisson ν du matériau (noté Nu dans Alizé-Lcpc).
- Les conditions d'interface au sommet et à la base de la couche, caractérisant le type de contact avec les couches adjacentes supérieure et inférieure.

Le modèle prévoit trois types de contact possibles pour caractériser le fonctionnement de l'interface entre couches adjacentes : collée, glissante, ou semi-collée. L'interface de type semi-collé est préconisée par le guide technique Conception et dimensionnement des structures de chaussées, pour caractériser le contact entre certaines couches de matériaux traités aux liants hydrauliques. Dans cette situation d'interface semi-collée, Alizé enchaîne automatiquement et de façon transparente à l'utilisateur, deux calculs successifs, le premier avec l'hypothèse de contact collé, le second avec l'hypothèse de contact glissant. Les résultats présentés correspondent à la moyenne entre ceux obtenus avec l'hypothèse d'interface collée, et ceux obtenus avec l'hypothèse d'interface glissante.

4.2. Créer et modifier les données Structures

La création d'une nouvelle structure de chaussée pour le module Alizé-mécanique est initiée par la commande **Fichier/Nouveau**. Une structure de base tri-couches est alors créée dans la fenêtre principale. En fonction de la structure de chaussée visée par l'étude en cours, l'utilisateur doit alors faire évoluer cette structure de base, et renseigner les différents champs de valeurs qui définissent son comportement mécanique, comme reproduit par l'exemple de la figure 4.2. Il dispose à cet effet des commandes, fonctions et aides résumées dans le tableau 4.1.

Action à réaliser	Bouton de commande ou cellule à actionner
Ajouter une couche	Commande Ajouter 1 couche
Supprimer une couche	Commande Supprimer 1 couche
Définir la nature d'une interface	Cellule collé ou 1/2collé ou glissante à gauche de l'interface concernée
Définir les paramètres H (épaisseur), E (module d'Young) et Nu (coefficient de Poisson) des différentes couches	Pour chaque matériau : Cellules épais.H , module E et Nu
Utiliser la bibliothèque des matériaux standards	Cellule autre ou matériau xxx de la colonne matériau type , à droite de la couche concernée
Modifier les niveaux de calcul	Commande Modifier les niveaux
Gérer les variantes de calcul	Commande Voir/gérer les variantes
Supprimer toutes les variantes	Commande Supprimer les variantes
Consulter l'aide Interface	Commande Nature des interfaces
Consulter l'aide Epaisseurs technologiques minimales et maximales des couches	Commande Epaisseurs mini-maxi

Tableau 4.1 : Liste des commandes pour la création d'une nouvelle structure pour les calculs Alizé-mécanique

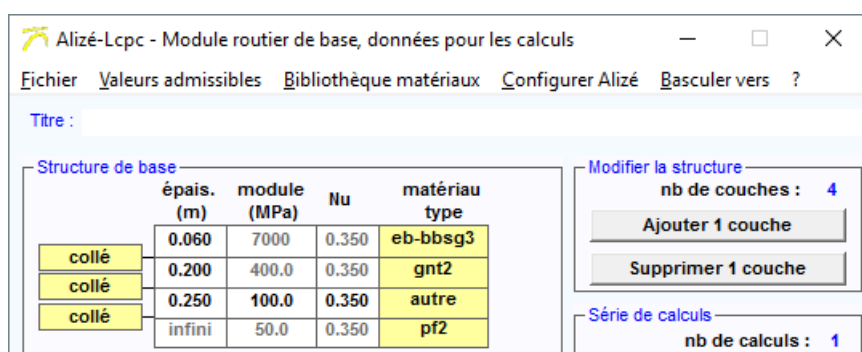


Figure 4.2 : Exemple de structure de chaussée pour les calculs Alizé-mécanique

4.3. Quelques précisions et conseils pour la saisie des données Structure

L'utilisateur est guidé dans la réalisation de ces différentes actions, par un ensemble complet de messages d'aide, et également d'avertissements en présence d'anomalie ou d'erreur. Quelques précisions essentielles sont rapportées ci-dessous :

Titre de l'écran Structure

Il est conseillé de renseigner la ligne réservée au titre de la structure en cours de définition, afin de faciliter par la suite son identification (par exemple lors de la relecture des données ou de l'édition des résultats des calculs).

Nombre maximal de couches

Le nombre maximal de couches de matériaux constituant la structure de chaussée et son massif support est limité à 18. Le nombre minimal est de 1 couche.

Type d'interface par défaut

Le type d'interface par défaut utilisée par le programme, en situation de création de nouvelle structure, d'ajout de couche ou de suppression de couche, est défini par les options de la feuille **Alizé-Lcpc-Options personnelles**. Cette feuille s'ouvre par la commande **Configurer Alizé/Préférences Module Routier** de la barre de menu principal (cf. §3.2).

Valeur par défaut du coefficient de Poisson

La valeur par défaut affectée au coefficient de Poisson est définie par le champ de saisie prévu à cet effet, dans la même feuille Alizé-Lcpc-Options personnelles (cf. §3.2).

La valeur par défaut de la température équivalente des matériaux bitumineux

La valeur par défaut affectée à la température équivalente des matériaux bitumineux est définie par le champ de saisie prévu à cet effet, dans la même feuille **Alizé-Lcpc-Options personnelles** (cf. §3.2).

Niveaux de calcul par défaut

Sauf dans le cas de **Calculs Grille** selon des profils verticaux (voir §6.3), le calcul des sollicitations internes dans la structure est effectué à deux niveaux dans chaque couche de matériau autre que la couche inférieure d'extension verticale semi-infinie, et à un niveau unique dans cette dernière couche. Ces niveaux sont implicitement ceux des interfaces entre couches, niveaux auxquels les sollicitations internes maximales sont obtenues en général. La commande **Modifier les niveaux** de l'encadré **Niveaux de calcul** ouvre la feuille **Alizé-Lcpc-Choix des niveaux de calculs**. Celle-ci permet de modifier ce choix par défaut des niveaux de calcul (figure 4.3). Cette possibilité de décalage des niveaux de calcul par rapport aux niveaux des interfaces entre couches peut s'avérer utile dans le cas de calculs visant à simuler des mesures sur chaussées instrumentées (mesures extensométriques, mesures d'ovalisation...).

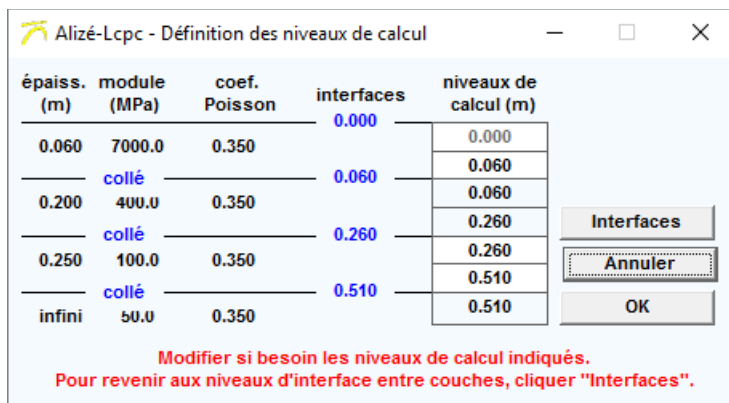


Figure 4.3 : Fenêtre Définition des niveaux de calculs – exemple : Bibliothèques des matériaux du module Alizé-mécanique

4. Alizé-mécanique : données concernant la structure de chaussée

Il est possible d'attribuer à une ou plusieurs couches constituant la structure de chaussée les caractéristiques d'un matériau de la Bibliothèque du module Alizé-mécanique. Pour accéder à la liste des matériaux de la bibliothèque du module mécanique et transférer les paramètres E et Nu du matériau sélectionné vers la couche concernée de l'écran Structure, deux possibilités :

Click-gauche sur la cellule à cliquer **Matériau type** (à droite de la cellule **coefficient Nu** de la couche concernée) : voir figure 4.4. Cette première possibilité plus complète que la seconde permet, dans le cas des matériaux bitumineux, de fixer une valeur de température éventuellement différente de la température équivalente (cf.§3.2) et une fréquence éventuellement différente de la fréquence standard de 10 Hz.

Ou click-droit sur la cellule à cliquer **Matériau type** : voir figure 4.5. Ce click-droit ouvre la liste de matériaux de la bibliothèque mécanique. Un premier click-gauche permet alors de sélectionner un matériau de la liste. Un second click-gauche déclenche la fermeture de cette liste et le transfert des valeurs E et Nu du matériau sélectionné, vers les cellules correspondantes de la couche concernée dans la structure affichée à l'écran (ou la touche Esc = Echap pour annuler). Cette seconde possibilité constitue un raccourci de la précédente. Pour les matériaux bitumineux, les valeurs des paramètres température et fréquence sont obligatoirement fixées à celles de la température équivalente prédéfinie et de la fréquence standard de 10Hz.

Il est possible de sélectionner :

Soit un matériau normalisé au sens du guide technique Conception et dimensionnement des chaussées de 1994 – Catalogue 1998 ou de la norme Dimensionnement des chaussées NFP 98-086. Les matériaux normalisés sont repérés par leur sigle alphanumérique conforme aux notations du guide technique ou à la norme, et repérables par leur statut de type **System**. Pour la pré-sélection par l'utilisateur de la bibliothèque des matériaux à utiliser, voir §3.2 et figure 3.6.

Soit un matériau personnel, qui aura préalablement été introduit par l'utilisateur dans la bibliothèque des matériaux du module Alizé-mécanique. Les matériaux personnels sont repérés par leur sigle alphanumérique défini par l'utilisateur, et repérables par leur statut de type **User**.

Pour des compléments sur l'utilisation de la bibliothèque des matériaux du module Alizé-mécanique, on se reportera au §8.2.

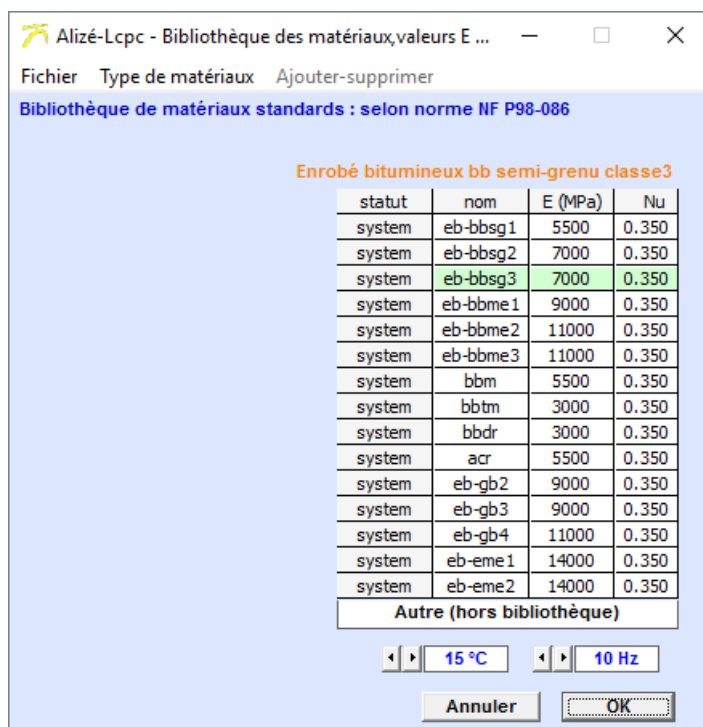


Figure 4.4 : Fenêtre Bibliothèque des matériaux, valeurs E (modules d'Young) et Nu (coefficient de Poisson). Accessible via Click-gauche sur la cellule **Matériau type**

4. Alizé-mécanique : données concernant la structure de chaussée

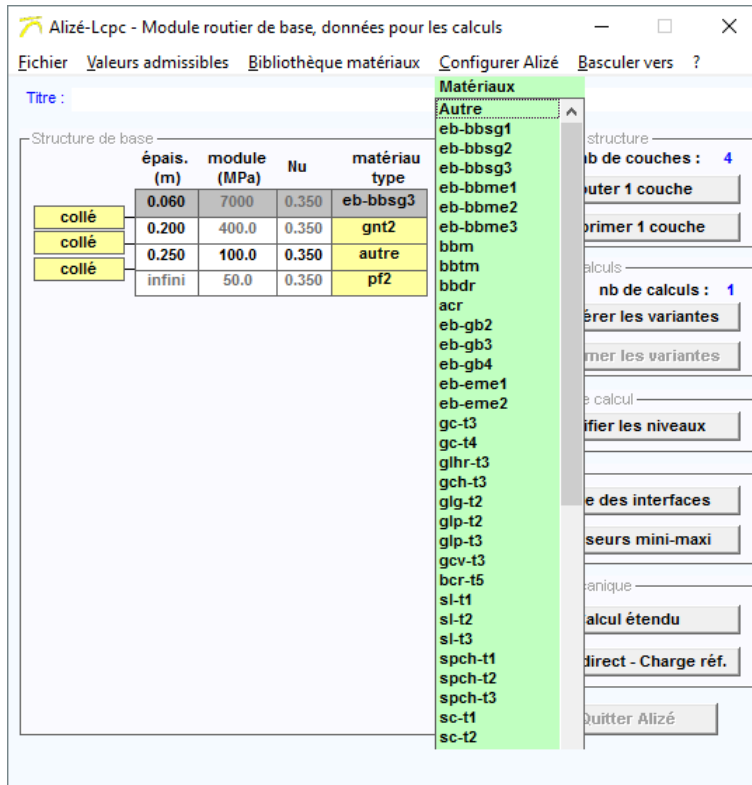


Figure 4.5 : Raccourci pour l'accès à la bibliothèque des matériaux, valeurs E (modules d'Young) et Nu (coefficient de Poisson). Accessible via Click-droit sur la cellule **Matériau type**

Définition des variantes de calcul

Pour une structure donnée, il est possible de définir jusqu'à 25 variantes de calcul. Ces variantes sont définies via la fenêtre **Alizé-Lcpc –Gestion-définition des variantes de calcul**, appelée par la commande **Voir/gérer les variantes** de la fenêtre principale. Par rapport aux données de la structure de base, les variantes de calcul portent :

Soit sur des variations d'épaisseur d'une ou plusieurs couches (cf. exemple de la figure 4.6).

Soit sur des variations de module d'Young d'une ou plusieurs couches.

Dans les problèmes de dimensionnement courants, la définition de variantes de calcul simplifie la recherche de la solution en permettant un enchaînement automatique des calculs pour chaque variante prédéfinie, ainsi que la représentation graphique de ce processus.

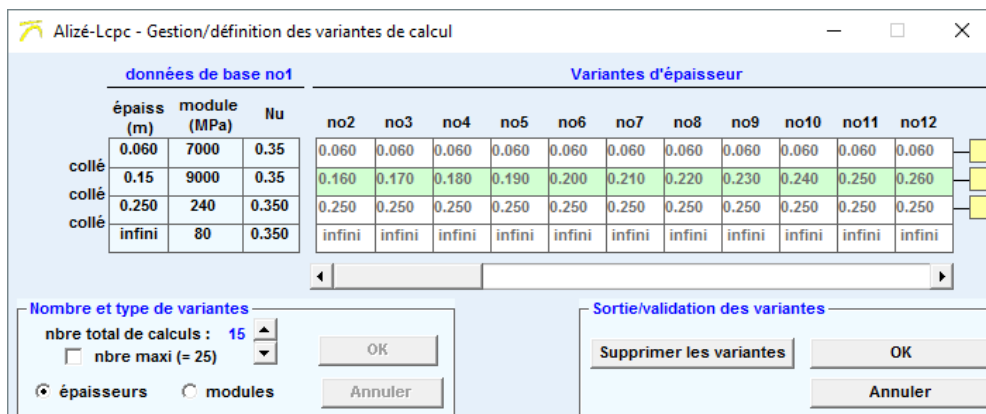


Figure 4.6 : Exemple de définition de variantes de calcul, activé par la commande **Modifier les niveaux de calcul** de la fenêtre principale **Définition d'une structure**

Aide nature des interface

L'aide **Nature des interfaces** rappelle les hypothèses spécifiées par le guide technique Conception et dimensionnement des structures de chaussées de 1994 et le Catalogue de 1998, ou par la norme NFP 98-086 (figure 4.7).

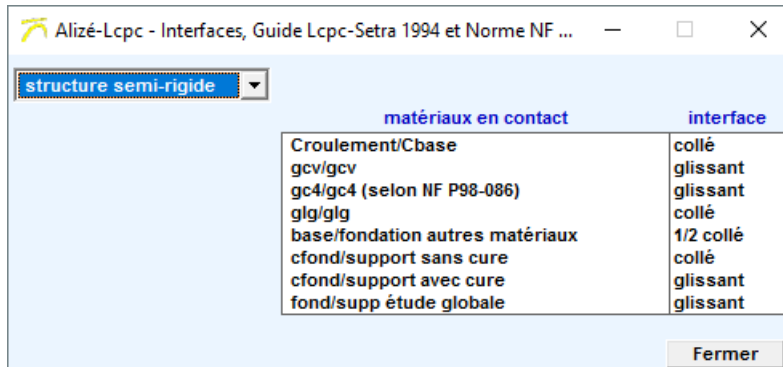


Figure 4.7 : Ecran d'aide Nature des interfaces, activé par la commande **Nature des interfaces** de la fenêtre principale **Définition d'une structure**

Aide Epaisseur mini-maxi

L'aide Epaisseurs technologiques minimales rappellent les valeurs minimales et maximales d'épaisseur de mise en œuvre des matériaux, prise en compte pour l'établissement du Catalogue 1998, ou spécifiées par la norme NFP 98-086 (figure 4.8).

4.4. Consultation et importation des fiches du Catalogue Lcpc-Setra 1998

Les fiches des différentes structures types du Catalogue des chaussées neuves (Lcpc-Sétra 1998) peuvent être consultées à l'aide de la commande **Fichier/ Structures Catalogue RRN 1998** (figure 4.9). Elles peuvent de plus être directement transposées dans la feuille principale **Définition d'une structure – Structure de base**, en tant que données de calcul pour le logiciel Alizé (figure 4.10).

4.5. Enregistrement et lecture des fichiers de données

Lorsqu'une structure de chaussée a été complètement définie et avant de poursuivre dans l'utilisation du logiciel, il est recommandé de sauvegarder l'ensemble des données relatives à cette structure. La sauvegarde s'effectue par la commande **Fichier/Enregistrer** ou de la barre de menu principal. L'opération d'enregistrement sur fichier est assurée classiquement par une boîte de dialogue au standard Windows.

Les commandes **Fichier/Ouvrir** et **Fichier/Enregistrer** sont également au standard Windows. Elles permettent quant à elles la lecture et l'enregistrement de fichiers de structures préalablement définis (figure 4-11).

Alizé-Lcpc - Epaisseurs des couches, seuils technologiques selon le Catalogue des structures neuves 1998

Guide 1994 - Catalogue 1998 Norme NF P98-086

Epaisseurs des couches, selon la norme NF P98-086

Epaisseurs minimales et maximales des couches (annexe H normative)

	GB		EME			GH BCR	S traités	GNT		BAC BC5g	BC5ng	BC2
	0/14	0/20	0/10	0/14	0/20			0/14	0/20			
mini	8cm	10cm	6cm	7cm	9cm	15cm	18cm	10cm	15cm	/	/	/
maxi	14cm	16cm	8cm	13cm	15cm	32cm	32cm	35cm	35cm	/	/	/

Domaines d'épaisseur des différentes techniques de couche de roulement (annexe B normative)

Technique	Granularité	Epaisseur (m)
BBSG	EB10	0.05 à 0.07
BBSG	EB14	0.06 à 0.09
BBM	EB10	0.03 à 0.04
BBM	EB14	0.035 à 0.05
BBDr	BBDr6	0.03 à 0.04
BBDr	BBDr10	0.04 à 0.05
BBS	EB10-type 1	0.04 à 0.05
BBS	EB10-type 2	0.04 à 0.05
BBS	EB10-type 3	0.08
BBS	EB10-type 4	0.10 à 0.12
BBTM	BBTM6	0.02 à 0.03
BBTM	BBTM10	0.02 à 0.03
BBUM	UTLAC6	0.015
BBUM	UTLAC10	0.015
BBME	EB10	0.05 à 0.07
BBME	EB14	0.06 à 0.09
ES		
ACR		

Chaussées souples : épaisseur de la couche de surface bitumineuse (annexe B normative)

Trafic NE inf	Trafic NE sup	Ep. BB (m)
10 000	130 000	0.04
130 000	168 000	0.05
168 000	216 000	0.06
216 000	280 000	0.07
280 000	360 000	0.08
360 000	465 000	0.09
465 000	600 000	0.10
600 000	775 000	0.11
775 000	1 000 000	0.12

Chaussées semi-rigides : épaisseurs minimales de la couche de surface (annexe B normative)

Classe Trafic	Ep. minimale (m)
Trafic < T1	0.06
Trafic = T1	0.08
Trafic > T1	0.10 à 0.14

Chaussées bitumineuses épaisses, mixtes et inverses (annexe B normative)

C.de surface (roulement + liaison)	selon limites technologiques de chaque technique et ép. totale de la structure
C. de liaison	épaisseur 5 à 7 cm préconisée. Jusqu'à 9 cm si couche de roulement BBM ou BBTM

Fermer

Figure 4.8 : Ecran **d'aide Epaisseurs des couches, seuils technologiques** selon le Catalogue des structures neuves de 1998 ou la norme NFP 98-086, activé par la commande **Epaisseurs mini-maxi** de la feuille Définition d'une structure

Alizé-Lcpc - Module routier de base, données pour les calculs

Fichier Valeurs admissibles Bibliothèque matériaux Configurer Alizé Basculer vers ?

- Nouveau
- Ouvrir
- Structures Catalogue RRN 98**
- Enregistrer
- Enregistrer Sous

Modifier la structure

nb de couches : 4

Ajouter 1 couche

Supprimer 1 couche

Figure 4.9 : Commande **Structures Catalogue RRN 98**, pour la consultation et/ou l'importation des structures du Catalogue des chaussées neuves (Lcpc-Sétra 1998)

4. Alizé-mécanique : données concernant la structure de chaussée

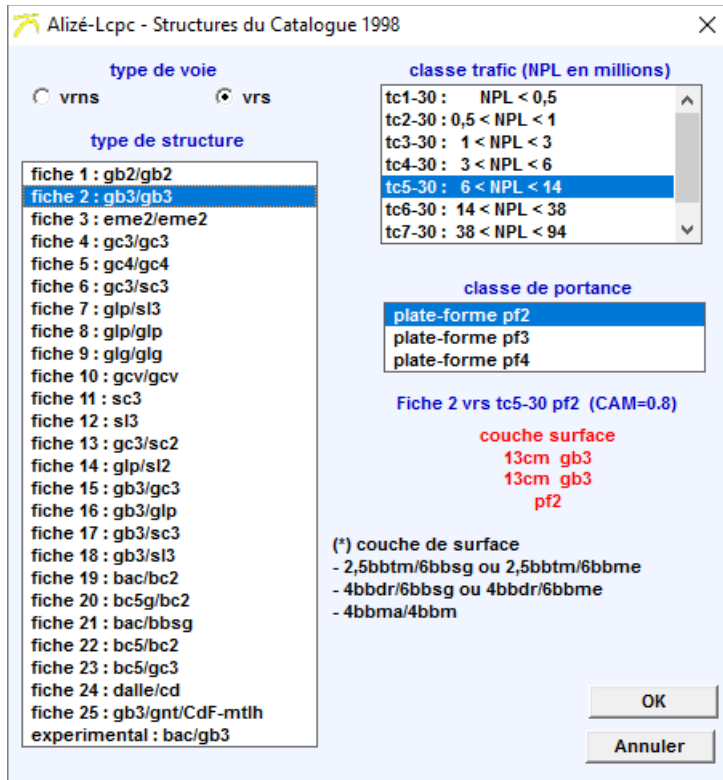


Figure 4.10 : Ecran de consultation et d'importation des structures du Catalogue des chaussées neuves, Lcpc-Sétra 1998

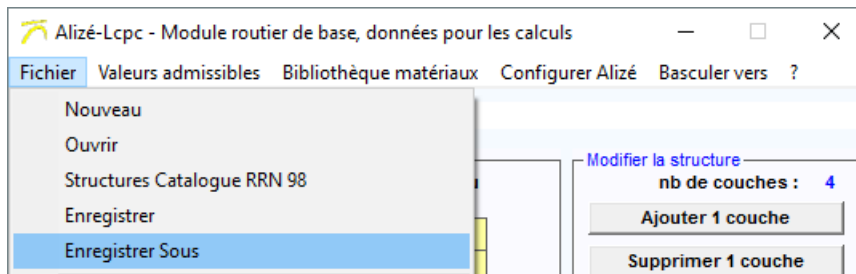


Figure 4.11 : Commandes :

Fichier/Nouveau, Fichier/Ouvrir, Fichier/Enregistrer et Fichier/Enregistrer Sous

selon le Guide de style standard de Windows

5. Alizé-mécanique : données concernant le chargement du modèle



5.1. Définition de la charge de référence

Dans les applications courantes de dimensionnement des chaussées routières, une charge de référence est prédéfinie (cf. annexe A1). Le chargement de la structure de chaussée sera réalisé, pour ces dimensionnements courants, avec cette charge de référence qui est en général unique et immuable dans un contexte de dimensionnement donné.

La définition de la charge de référence est initiée par la commande **Configurer Alizé/Charge de référence** de la barre de menu principal. Elle ouvre la fenêtre Alizé-Lcpc-**Définition de la charge de référence** (cf. figure 5.1).

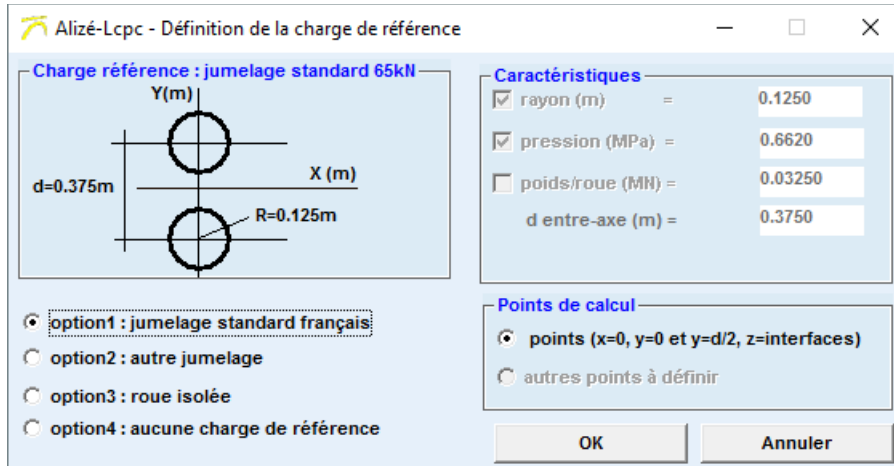


Figure 5.1 : Configuration d'Alizé, définition de la charge de référence.

Caractéristiques de la charge de référence

La charge de référence définie ici sera mémorisée par le logiciel pour les utilisations futures, jusqu'à ce qu'une charge de référence différente soit éventuellement fixée. La définition d'une charge de référence n'est toutefois pas obligatoire. Les calculs du module Alizé-mécanique s'effectueront alors obligatoirement avec, pour chargement appliqué à la surface de la chaussée, un chargement dénommé charge spéciale, défini comme indiqué plus bas au §5.2.

Profils verticaux de calculs

Les profils verticaux de calculs, associés aux niveaux de calcul (cf. §4.2), définissent les points pour lesquels le calcul mécanique des sollicitations internes sera effectué par le moteur de calcul Alizé-mécanique. Les profils verticaux de calcul préétablis pour la charge de référence sont les suivants (profils conventionnels guidés par la démarche de dimensionnement rationnelle) :

- Cas de la charge de référence constituée d'une roue isolée : un profil vertical de calcul unique, correspondant au centre du cercle définissant cette charge.
- Cas de la charge de référence constituée d'un jumelage : deux profils verticaux de calcul, correspondant l'un au centre du cercle définissant l'une de deux charges, et l'autre à l'axe de symétrie centrale du jumelage.

Les profils de calculs attachés à la charge de référence ne sont pas modifiables. Lorsque ceci est demandé, le chargement perd son caractère de charge de référence. Il est assimilé par le logiciel à une charge quelconque, dont la définition relève de la saisie des charges spéciales comme indiqué au §5.2.

5.2. Définition des charges spéciales

La création d'une nouvelle charge spéciale pour le module Alizé-mécanique est initiée par la commande **Fichier/Nouveau** dans la fenêtre du module Charges spéciales.

On y accède :

Soit en cliquant sur le module Charges Spéciales, puis sur « OK » au lancement du logiciel,

Soit en cliquant sur le menu « Basculer vers », « Chaussées spéciales », depuis un autre module de calcul, et notamment depuis le module routier dans lequel on aura préalablement défini sa structure.

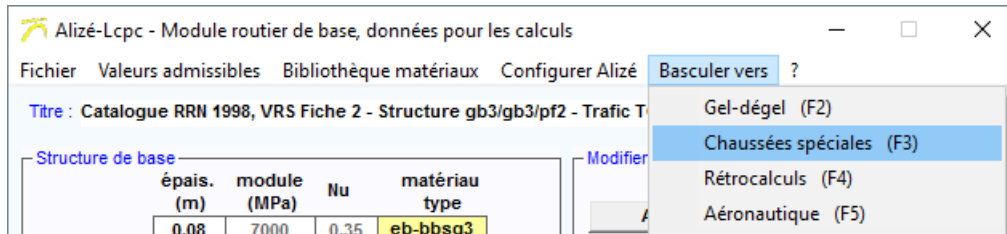


Figure 5.2 : Commande pour la création d'une nouvelle charge spéciale

Caractéristiques du chargement spécial

Une charge spéciale est constituée d'un ensemble de charges unitaires, circulaires, uniformes et verticales, appliquées à la surface de la chaussée. Le nombre de charges isolées constituant ce chargement complet peut varier entre 1 et 1000. Les caractéristiques des charges (rayon, poids et pression) peuvent varier d'une charge isolée à l'autre (cf. figure 5.3).

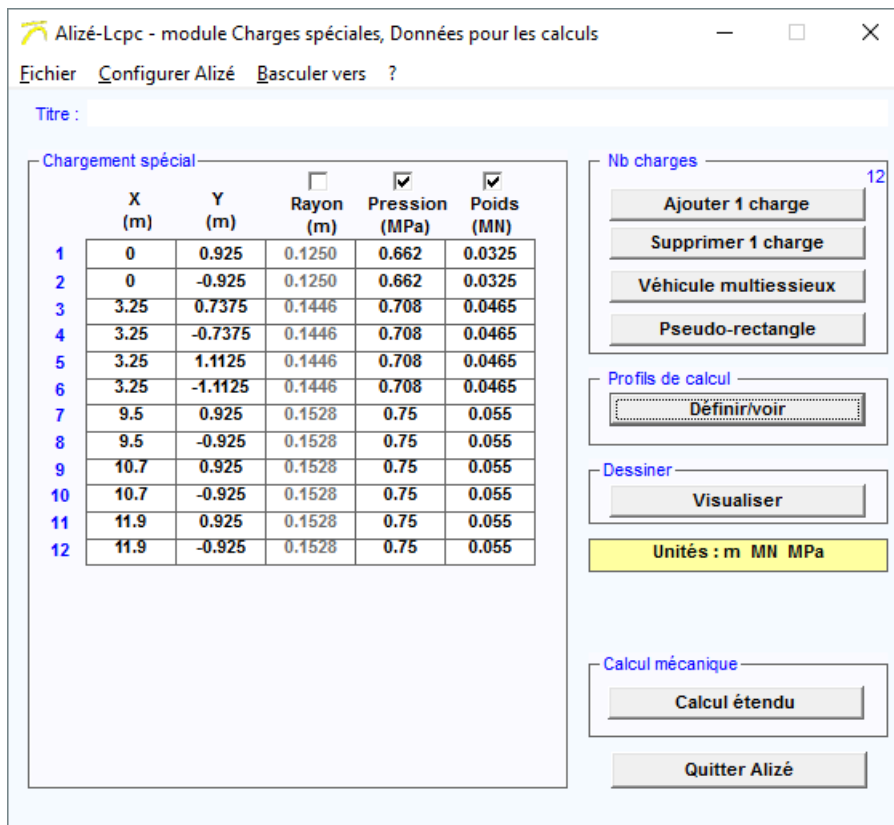


Figure 5.3 : Définition d'une charge spéciale par positionnement des charges sur grille, exemple d'un convoi 12 roues.

5. Alizé-mécanique : données concernant le chargement du modèle

Véhicule multiessieux

L'outil « Véhicule multiessieux » propose une alternative à la définition de la charge spéciale par positionnement des centres de charges sur une grille.

Pour chaque essieu, on définit :

- Le type de monte : 2 roues simples, 2 jumelages ou 4 jumelages
- Le poids par roue
- La pression de contact
- Les données géométriques de positionnement des charges : écartement des roues d'un essieu, écartement avec l'essieu précédent, ...

L'outil affiche les données déduites : Poids essieu et Poids total (cf. figure 5.4).

Cliquer sur OK permet la création automatique du chargement spécial correspondant.

	Type de monte	Poids roue	Poids essieu	Pression contact	E1 Entre jumelage	J12 Distance jumelages 1-2	V1 Voie essieu	Idem essieu No	DN Distance à l'essieu précédent (m)
Essieu no 1	2 Jumelages	0.19075	0.7630	0.76	0.84		3.02		
Essieu no 2	2 Roues simples	0.1955	0.3910	0.76			2.77		7

Poids total = 1.1540 (= 117.675 tf)

Figure 5.4 : Définition d'une charge spéciale à l'aide l'outil Véhicule Multiessieux.

L'outil Aide Distances schématise les données géométriques demandées. (cf. figure 5.5)

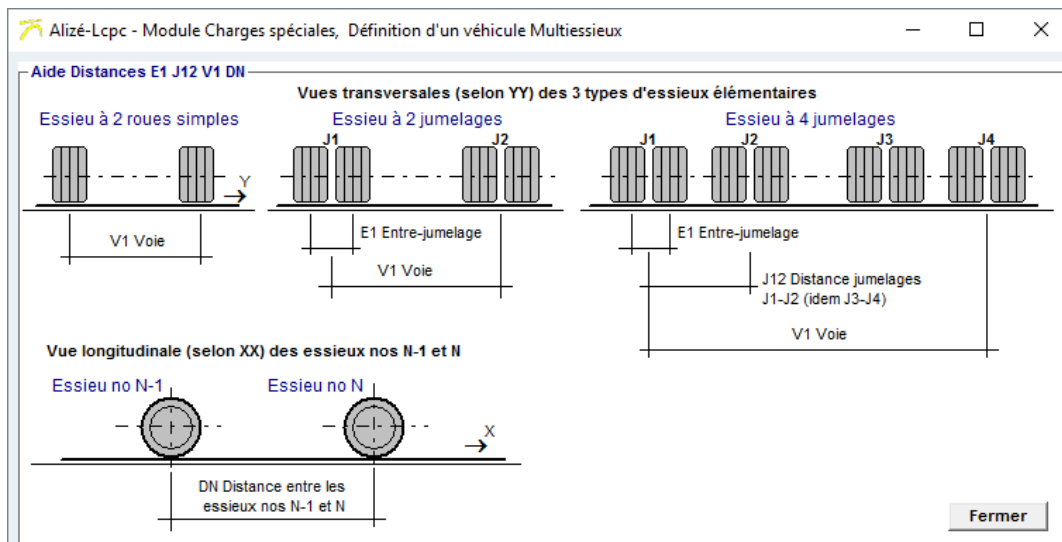


Figure 5.5 : Outil d'aide à la définition des charges multiessieux.

Profils verticaux de calculs

Outre les données définissant l'ensemble du chargement spécial en termes de géométrie et de poids ou de pression appliqué aux différentes roues, il est en général nécessaire de définir également les profils verticaux de calcul (cf. figure 5.6). Ceci n'est toutefois pas le cas lorsque les calculs sont par la suite lancés en mode Calcul grille-séca (cf. §5.3).

Le basculement depuis l'écran **Caractéristiques des charges X, Y, Rayon, Pression, Poids** vers l'écran **Coordonnées X, Y des points de calcul** s'effectue à l'aide de la commande **Définir/Voir** du cadre **Profil de calcul** de l'écran Caractéristiques de charges.

Le basculement depuis l'écran **Coordonnées X, Y des points de calcul** vers l'écran **Caractéristiques des charges X, Y, Rayon, Pression, Poids** s'effectue à l'aide de la commande **Définir/Voir** du cadre Profil de calcul de l'écran Coordonnées X, Y des points de calcul.

La commande **Visualiser** présente sur chacun de ces deux écrans permet de visualiser la vue dans le plan horizontal XoY du chargement spécial en cours de saisie.

Enregistrement sur fichier

Lorsqu'un chargement spécial a été complètement défini et avant de poursuivre dans l'utilisation du logiciel, il est recommandé de sauvegarder l'ensemble des données relatives à ce chargement, à l'aide de la commande **Fichier/Enregistrer sous** de la barre de menu principal (cf. §4.5). Les commentaires généraux exprimés au §4.5, relatifs aux opérations d'enregistrement et d'ouverture de fichier de données à l'aide de la boîte de dialogue au standard Windows, s'appliquent également ici.

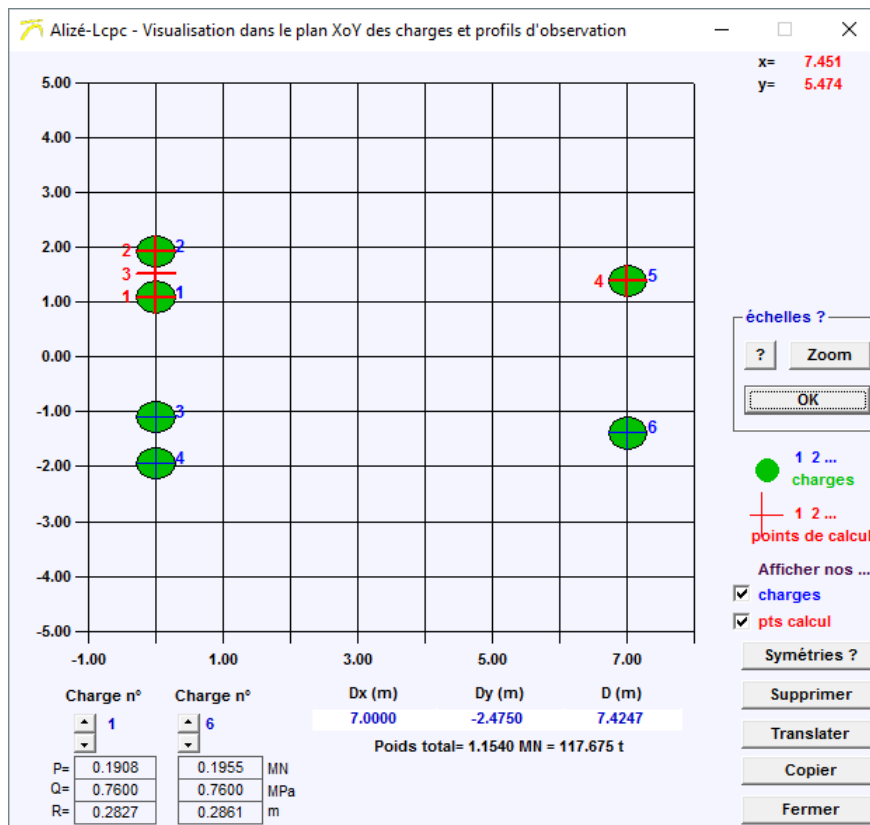


Figure 5.6 : Visualisation d'une charge spéciale.

5.3. Charges spéciales pseudo-rectangulaires

La feuille **Définition des charges spéciales** d'Alizé-Lcpc comporte également un processus automatique assurant la représentation d'une charge au contour rectangulaire, uniformément chargée, par un ensemble plus ou moins dense de charges circulaires élémentaires inscrites dans le contour du rectangle. Cette procédure de génération de charges est initiée par la commande **Pseudo-rectangle** de la feuille **Charges spéciales**.

Alizé-Lcpc - Définition d'une charge ps...

Paramètres de la charge pseudo-rectangle

abscisse Xo du centre du rectangle (m) : 1
 ordonnée Yo du centre du rectangle (m) : 2

dimension du rectangle selon le côté 1 (m) : 0.7
 angle côté 1 avec axe Ox (°) : 35
 dimension du rectangle selon le côté 2 (m) : 0.45
 poids total appliqué au rectangle (MN) : 0.055
 (= 5.608 tf)

Options de remplissage

1- grands cercles seulement
 2- idem 1 + petits cercles intérieurs
 3- idem 2 + petits cercles périphériques
 4- idem 3 + petits cercles aux 4 coins
 5- remplissage automatique moyen
 6- remplissage automatique moyen-dense
 7- remplissage automatique dense
 8- remplissage automatique très dense

Spécial PF logistiques

9- pièces de coin des conteneurs

OK
Annuler

Figure 5.7 : Génération automatique d'un chargement pseudo-rectangulaire

Cette méthode permet de reproduire des chargements pour lesquels l'assimilation de la surface de contact pneumatique-chaussée par un cercle ou un nombre réduit de cercles, s'avérerait trop simplificatrice. Un exemple de chargement spécial pseudo-rectangulaire est représenté sur les figures 5.7 (définition du chargement) et 5.8 (visualisation du chargement).

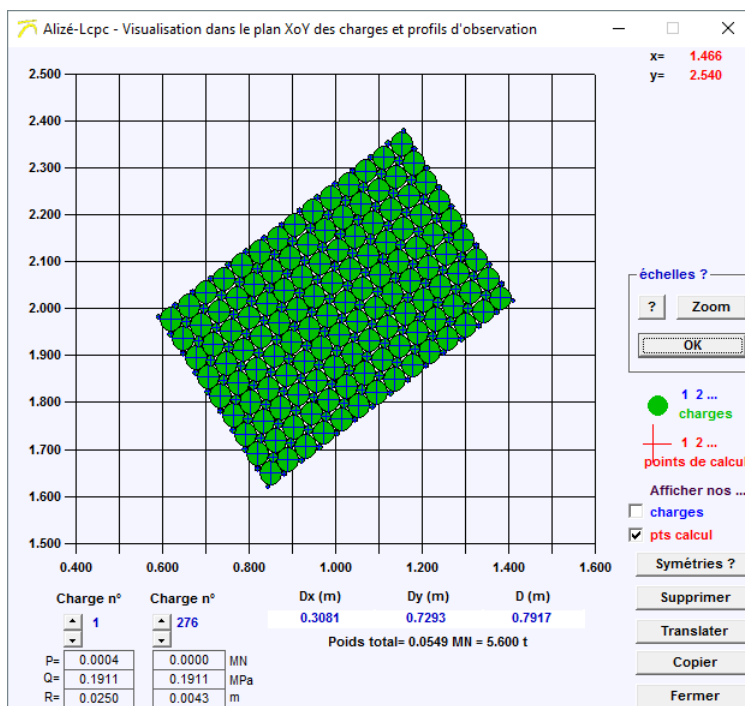


Figure 5.8 : Visualisation du chargement pseudo-rectangulaire défini par les données de la figure 5.7

5. Alizé-mécanique : données concernant le chargement du modèle

L'option pièces de coin des conteneurs, permet de définir automatiquement les charges spéciales correspondant au positionnement de coins de conteneurs, dans le cadre de la vérification des zones de stockages des plateformes logistiques (cf. figure 5.9).

Les dimensions des pièces sont par défaut de 17.8 cm x 16.2 cm, avec un écartement de 5 cm bord à bord.

L'utilisateur définit :

- La configuration étudiée : empilement isolé, en rangée ou par blocs,
- Le nombre de conteneurs empilés
- Le poids par conteneur

Cliquer sur « OK » permet la création automatique du chargement spécial correspondant. (cf. figure 5.10)

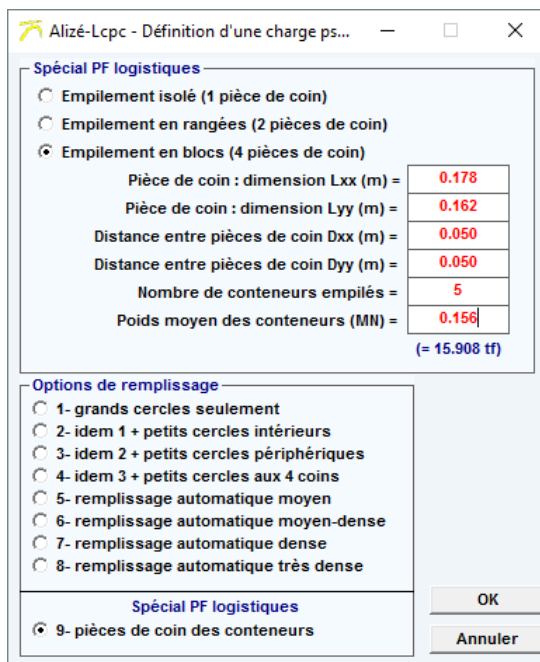


Figure 5.9 : Définition du chargement pseudo-rectangulaire de pièces de coin de conteneurs

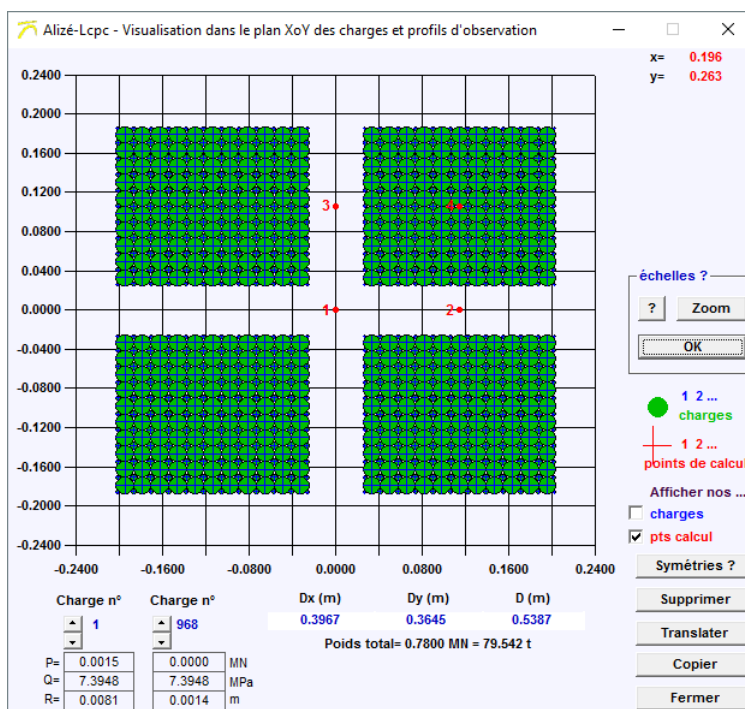


Figure 5.10 : Visualisation du chargement pseudo-rectangulaire de type pièces de coin de conteneurs correspondant à la figure 5.9

6. Alizé-mécanique : lancement des calculs



6.1. Les deux modes de calcul mécanique

Préalablement au lancement d'un calcul par le module Alizé-mécanique, l'utilisateur doit spécifier d'une part la structure de chaussée, et d'autre part le chargement (charge de référence ou chargement spécial), pour lesquels le calcul est demandé. Ces deux ensembles de données sont gérés par le logiciel de façon indépendante : enregistrement sur des fichiers spécifiques distincts et indépendants, affichage sur deux fenêtres écran différentes, possibilité de calcul pour toute association Structure – Chargement.

Deux modes de calcul sont possibles :

Le calcul de type Standard, pour le chargement constitué de la charge de référence ou d'un chargement spécial. Les résultats seront calculés en des points (points de calcul) situés sur les profils verticaux de calcul définis avec le chargement (cf. §5.1 et 5.2). Sur chaque profil vertical, les calculs seront effectués en 2 points de chaque couche (cf.§4.2, Niveaux de calcul). Ce mode de calcul est en général retenu pour les calculs de dimensionnement courants. Les résultats seront présentés sous forme de tableaux de valeurs des sollicitations calculées à chacun des points de calcul.

Le calcul de type Grille, pour lequel les profils verticaux de calcul sont définis par une grille. Les points de calcul constituent ainsi, à chaque niveau de calcul, un semi de points à maille carrée dont le pas (côté de la maille carrée) et l'étendue sont fixés par l'utilisateur. Les résultats seront présentés sous forme de profils longitudinaux et transversaux, ou de surfaces d'isovaleurs 2D ou 3D. Ce second mode de présentation des calculs permet une visualisation plus complète du fonctionnement global de la structure de chaussée pour un chargement donné. Il trouve également des applications dans les études de comportement d'une chaussée sous chargement complexe. Dans cette situation, la pré-localisation des sollicitations maximales peut en effet s'avérer délicate, ce qui complique la définition a priori des profils verticaux de calcul. La présentation des résultats suivant des profils longitudinaux et transversaux, ou suivant des surfaces 2D ou 3D, facilite en général cette localisation.

6.2. Commandes pour le lancement des calculs mécaniques

Nota : Pour le calcul Alizé-mécanique d'une structure affichée à l'écran, utilisant pour chargement la charge de référence, la commande **Calcul direct** (cf. plus bas), plus simple d'utilisation et constituant en fait un raccourci, sera de préférence utilisée.

Cas général

Le lancement du calcul Alizé s'effectue par la commande **Calcul étendu** de la fenêtre principale du Module Routier ou du Module Charges spéciales.

Cette commande ouvre l'écran Lancement des calculs mécaniques (cf. figure 6.1), qui permet de définir la structure de chaussée et le chargement, pour lesquels le calcul est demandé. Toutes les combinaisons sont possibles :

- calcul pour la structure de chaussée affichée (éventuellement) sur la fenêtre Structure ou lecture sur fichier Structure ;
- chargement de référence ou charge spéciale ; Dans le cas de chargement par une charge spéciale, calcul pour la charge affichée sur la fenêtre Chargement spécial (éventuellement) ou lecture sur fichier Chargement ;
- Calcul de type Standard ou Grille.

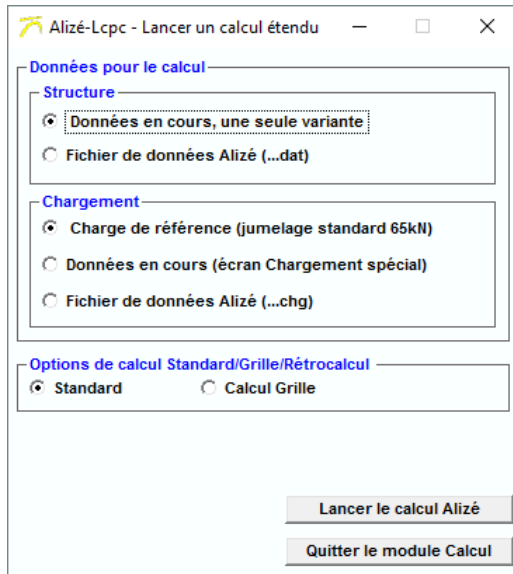


Figure 6.1 : Lancement du calcul Alizé, choix des données Structure, Chargement et type de calcul

Cas particulier : commande **Calcul direct** pour la charge de référence

Pour réaliser un calcul utilisant comme données la structure affichée à l'écran dans le module routier et la charge de référence (cf. §5.1), la commande **Calcul direct** (feuille principale **Définition de la structure**) sera utilisée de préférence (cf. figure 6.2). L'écran **Lancement des calculs mécaniques** présenté sur la figure 6.1 est en effet inutile dans cette situation, et la commande **Calcul direct** constitue en fait un raccourci accélérant le lancement des calculs puis l'accès à leurs résultats.

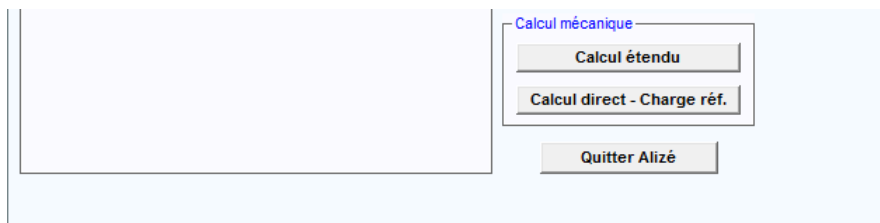


Figure 6.2 : Lancement du calcul Alizé-Mécanique par la commande « Calcul direct »

6.3. Lancement d'un calcul en mode Grille

Lorsque le mode de calcul Grille a été sélectionné (cf. figure 6.1), la commande **Lancer le calcul** Alizé de l'écran **Lancement des calculs mécaniques** n'actionne pas directement le moteur de calcul Alizé, comme cela est le cas en situation de calcul standard.

Le calcul Grille appelle en effet des données complémentaires, qui sont définies via la fenêtre **Définition d'un calcul Grille**. Les données supplémentaires nécessaires aux calculs sont les suivantes (cf. figure 6.3, 6.4 et 6.5) : paramétrage de la grille : en situation de calcul Grille, les points du plan XoY définissant les profils de calcul constituent un semi de points rectangulaire défini par sa longueur, sa largeur et les dimensions de la maille carrée élémentaire, désignée « pas » de la grille. Alizé propose automatiquement une grille de calcul, en fonction de la géométrie du chargement (charge de référence ou charge spéciale). L'utilisateur peut modifier s'il le souhaite, cette grille initiale, en jouant sur les paramètres suivants :

- symétries de la grille : il est possible de désactiver les éventuelles symétries, détectées automatiquement par le programme ;
- débord : le débord représente la distance entre les limites de la grille et le centre de la charge la plus proche. Le débord est identique selon les directions XX et YY ;
- pas : le pas de la grille conditionne directement le nombre de profils de calcul, la place mémoire nécessaire et le temps de calcul Alizé. A titre d'exemple, la taille maximale de la grille est d'environ 850 000 profils de calcul sur PC P3, Ram 128 MO.
- type de profils de paramètres à calculer. Il est possible de demander les calculs suivant des profils horizontaux (cf. figure 6.4) dans les directions longitudinale et transversale ou suivant des profils verticaux (cf. figure 6.5). Paramètres à calculer : afin de limiter le temps des calculs et le volume de leurs résultats, il est conseillé de limiter le nombre de paramètres à calculer, en spécifiant ici les grandeurs qui seront effectivement exploitées dans la suite de l'étude. Les grandeurs spécifiées peuvent varier selon la couche de matériau, et le point de calcul dans chaque couche. Pour simplifier la déclaration de ces paramètres, 6 options comportant chacune une liste préétablie de grandeurs à calculer, sont proposées (cf. tableau 6.1). La sélection de l'option s'effectue par un ou plusieurs clics successifs sur la case à cliquer (couleur jaune vif) correspondant au niveau de calcul choisi.

Consigne Affichée	Nbre de paramètres	Désignation des paramètres à calculer
SigmaT	7	SigmaXX, SigmaYY, Sigma1, Sigma2, Téta (XoY), p et q
EpsilonT	7	EpsiXX, EpsiYY, Epsi1, Epsi2, Téta (XoY), EpsiV et EpsiD
SigmaZ	3	Sigma ZZ, p et q
EpsilonZ	3	EpsiZZ, EpsiV et EpsiD
SigXX...ZX	10	SigmaXX, SigmaYY, SigmaZZ, SigmaXY, SigmaYZ, SigmaZX, Sig1, Sig2, Teta (YoZ) et W
EpsXX...ZX	10	EpsilonXX, EpsYY, EpsZZ, EpsilonXY, EpsYZ, EpsZX, Eps1, Eps2, Teta (YoZ) et W

Tableau 6.1 : Calcul selon le mode Grille-séca, choix des grandeurs à calculer

Nota 1 : dans la liste ci-dessus, « Epsi » ou « Eps » désignent Epsilon (déformation), « Sig » désigne Sigma (contrainte), « Teta » l'angle de rotation des contraintes ou déformations, W le déplacement vertical.

6. Alizé-mécanique : lancement des calculs

Nota 2 : en situation de données **Structure** comportant plusieurs variantes, le calcul de type Grille-séca n'est effectué que pour la première variante (données de base). Le calcul d'une variante autre exige un retour à la fenêtre principale Structure, et la transposition des données de la variante considérée, dans les données de base.

épais. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	niveaux interface (m)	niveaux de calcul (m)	critères (au choix)
0.150	35000.0	0.250	0.000	0.000	SigmaT
	glissant		0.150	0.150	SigmaT
0.180	20000.0	0.250	0.330	0.330	SigmaT
	collé				EpsilonZ
infini	50.0	0.350			

paramétrage de la grille, symétrie(s)

axe xx à y (m) = 0.0000

axe yy à x (m) = 2.00

débord (m) = 2.00

pas (m) = 0.05

option Profils verticaux

option Calculs de dommages

xmin (m) = -2.0000
 xmax (m) = 9.0000
 ymin (m) = 0.0000
 ymax (m) = 3.9500
 nb pts = 221x80 = 17 680

Modification des paramètres à calculer : Cliquer sur la (les) case(s) à modifier. Pour modifier les niveaux de calcul, voir la feuille "Structure/niveaux de calculs"

Figure 6.3 : Lancement du calcul Grille-séca, paramétrage des grandeurs à calculer dans le cas de calculs selon des profils horizontaux dans la direction longitudinale (XX) et transversale (YY)

épais. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	niveaux interface (m)	niveaux de calcul (m)	critères (au choix)
0.150	35000.0	0.250	0.000	0.000	SigXX...ZX
	glissant		0.150	0.150	SigXX...ZX
0.180	20000.0	0.250	0.330	0.330	SigXX...ZX
	collé				SigmaZ
infini	50.0	0.350			

paramétrage de la grille, symétrie(s)

axe xx à y (m) = 0.0000

axe yy à x (m) = 2.00

débord (m) = 2.00

pas (m) = 0.05

option Profils verticaux

option Calculs de dommages

xmin (m) = -2.0000
 xmax (m) = 9.0000
 ymin (m) = 0.0000
 ymax (m) = 3.9500
 nb pts = 221x80 = 17 680

consigne = SigmaZ
 3 paramètres calculés :
 - SigmaZZ
 - p et q

Modification des paramètres à calculer : Cliquer sur la (les) case(s) à modifier. Pour modifier les niveaux de calcul, voir la feuille "Structure/niveaux de calculs"

Figure 6.4 : Lancement du calcul Grille-séca, paramétrage des grandeurs à calculer dans le cas de calculs selon des profils verticaux (ZZ)

6. Alizé-mécanique : lancement des calculs

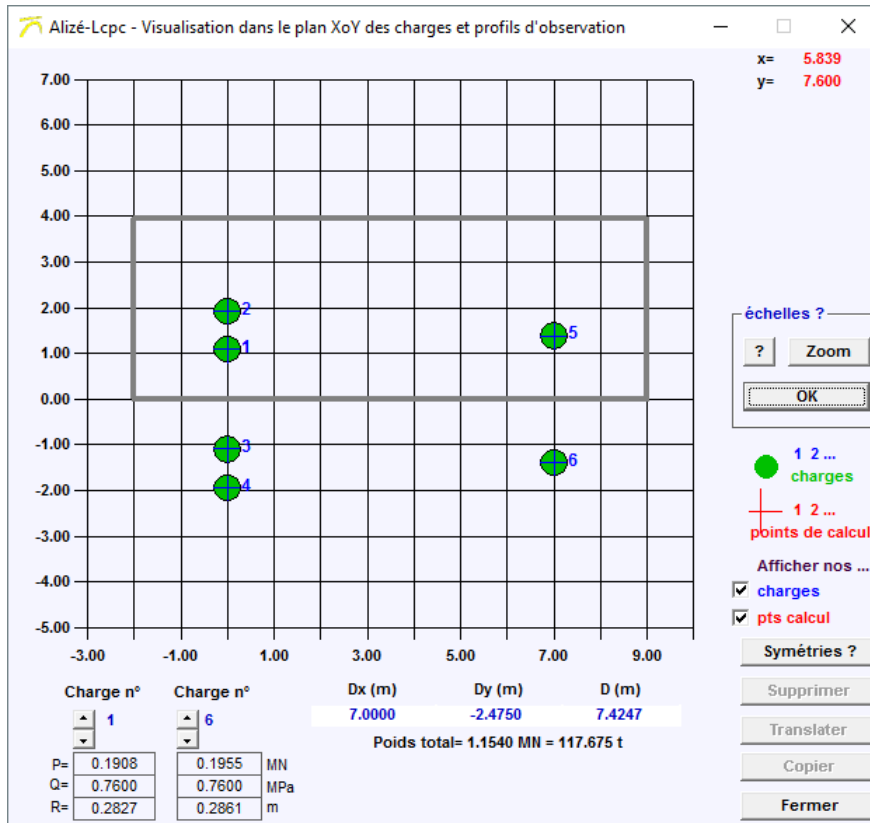


Figure 6.5 : Lancement du calcul Grille-séca. Visualisation de la grille de rectangulaire définissant l'ensemble des profils verticaux de points de calcul (exemple)

7. Alizé-mécanique : résultats des calculs



7.1. Résultats des calculs de type standard

Les résultats des calculs réalisés selon le mode standard sont présentés sur la feuille **Résultats des calculs mécaniques**. Cette feuille s'ouvre automatiquement lorsque s'achèvent les calculs mécaniques. Il est possible d'effectuer l'impression de tout ou partie des résultats, de même que de réaliser leur enregistrement sur fichier.

Ecran de résultats :

Cet écran se compose principalement :

d'un rappel de la structure utilisée pour le calcul. L'identifiant du chargement utilisé pour le calcul est également rappelé (ligne d'entête).

de 8 tableaux, affichables un à un, présentant les résultats suivants :

Tableau 1 : Déformations et contraintes aux points de calcul. A chaque niveau de calcul, valeur minimale de la déformation (EpsT) et de la contrainte (SigmaT) principale mineure dans le plan horizontal XoY, et valeur maximale de la déformation (EpsZ) et de la contrainte (SigmaZ) selon ZZ . Dans les applications courantes de dimensionnement, ce tableau synthétise les résultats directement utilisés pour le dimensionnement de la structure. Un exemple de tableau 1 de résultats est présenté sur la figure 7.1.

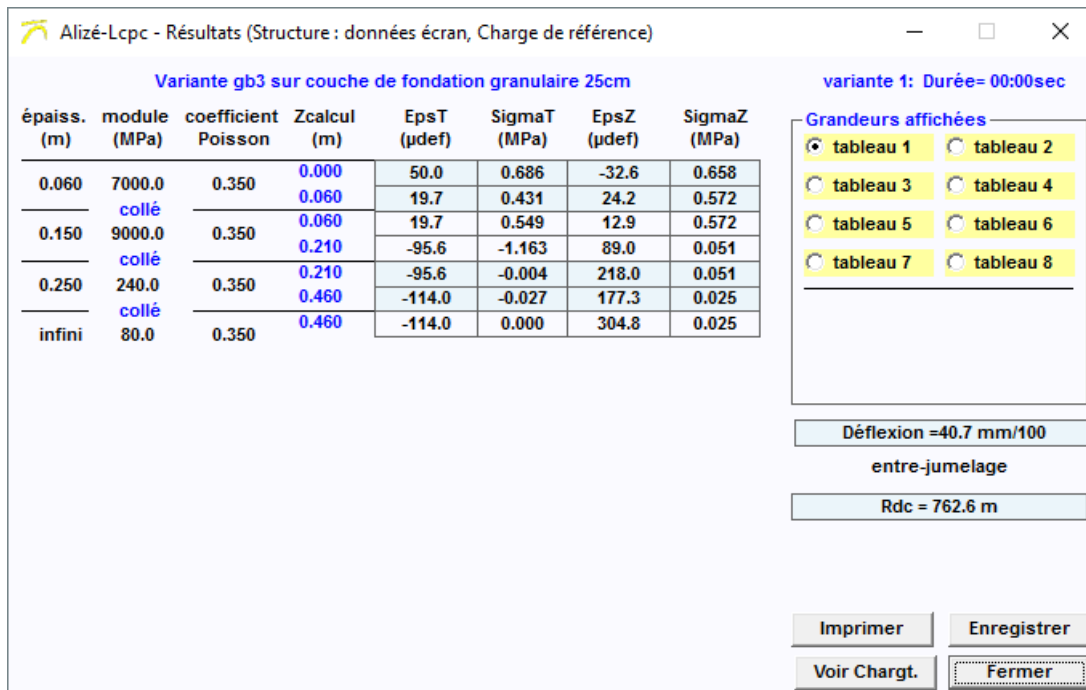


Figure 7.1 : Ecran principal d'affichage des résultats du calcul mécanique

Tableau 2 : Déformations et contraintes aux points de calcul. Localisation et orientation des valeurs minimales EpsT et SigmaT dans le plan XoY, et des valeurs maximales EpsZ et SigmaZ selon ZZ, valeurs fournies par le tableau 1. Les notations utilisées sont les suivantes :

dans le cas de calcul avec la charge de référence : R= axe roue, J=axe jumelage, m= direction non orientée XX ni YY (rotation de contrainte), cf. tableau 8.

dans le cas d'un chargement spécial : Pk= profil de calcul vertical n°k, m= direction non orientée XX ni YY (rotation de contrainte), cf. tableau 8.

7. Alizé-mécanique : résultats des calculs

Tableau 3 : Déformations selon XX, YY et ZZ, à chaque niveau de calcul et au profil vertical de calcul sélectionné (cf. choix du profil affiché à l'aide du curseur **Profil vertical** affiché).

Tableau 4 : Contraintes selon XX, YY et ZZ, à chaque niveau de calcul et au profil vertical de calcul sélectionné.

Tableau 5 : Déformations de cisaillement XY, YZ et ZX, à chaque niveau de calcul et au profil vertical de calcul sélectionné.

Tableau 6 : Contraintes de cisaillement XY, YZ et ZX, à chaque niveau de calcul et au profil vertical de calcul sélectionné.

Tableau 7 : Déformations principales majeures et mineures dans le plan XoY, et angle de rotation avec l'axe XX. Valeurs calculées à chaque niveau de calcul et au profil vertical de calcul sélectionné.

Tableau 8 : Contraintes principales majeures et mineures dans le plan XoY, et angle de rotation avec l'axe XX. Valeurs calculées à chaque niveau de calcul et au profil vertical de calcul sélectionné.

Les valeurs des déflexions calculées à la surface de la chaussée aux points de calcul sont également présentées.

Pour les tableaux 3 à 8, le curseur Profil vertical permet de sélectionner le profil à afficher.

Dans le cas de la charge de référence, la valeur du rayon de courbure est également calculée dans l'axe de la roue ou dans l'axe du jumelage, suivant la nature de la charge de référence.

Enchaînement des calculs en cas de variantes

Lorsque l'étude en cours comporte des variantes, les commandes **Variante n+1** et **Variante n-1** de l'écran **Résultats des calculs** permettent d'enchaîner directement les calculs pour chacune des variantes, et de porter successivement à l'écran leurs résultats.

De plus, la commande **Tracer** de l'écran **Résultats des calculs** permet de tracer à l'écran les courbes d'évolution des principaux résultats de calcul, en fonction du numéro de variante, ou en fonction de la valeur du paramètre ou de l'un des paramètres définissant les différentes variantes de calcul (cf. figure 7.2 et 7.3). Il est alors possible de demander l'impression de ces courbes de variations, ou de les enregistrer sur fichier au format texte (extension *****-var.res**).

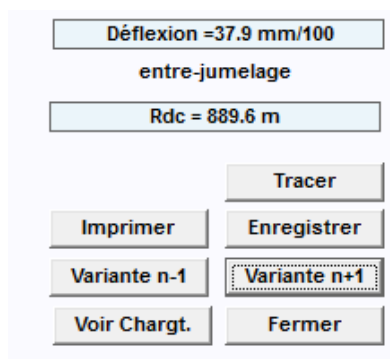


Figure 7.2 : Ecran principal d'affichage des résultats du calcul mécanique

Cas des calculs avec variantes, commande pour le tracer des courbes d'évolution des principaux résultats des calculs en fonction du no de variante ou du (des) valeur(s) de paramètre(s) définissant les variantes

7. Alizé-mécanique : résultats des calculs

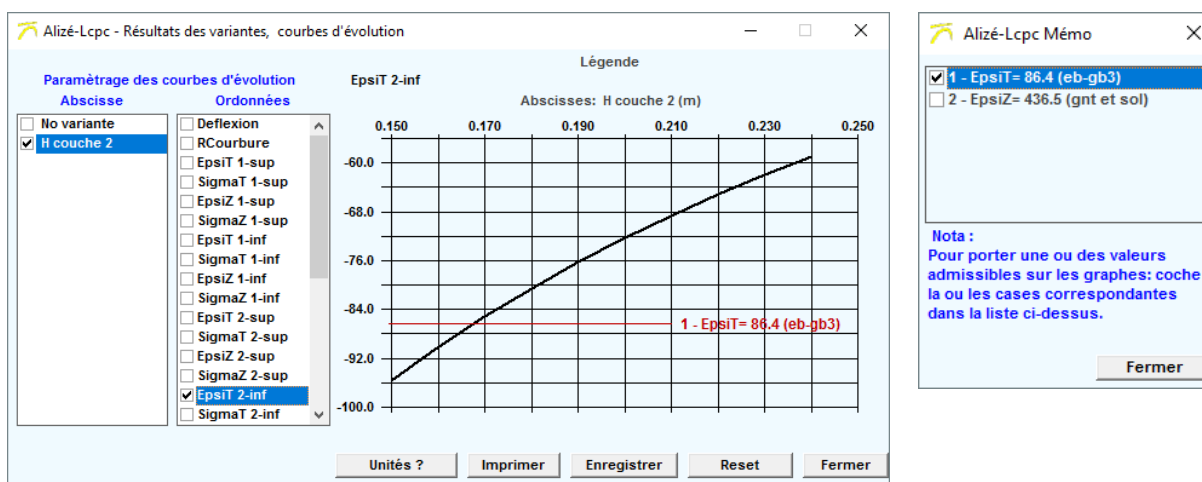


Figure 7.3 : Ecran Résultats des variantes, courbes d'évolution. Exemple de tracer des courbes de variations des principaux résultats des calculs en fonction du no de variante ou du (des) valeur(s) de paramètres définissant les variantes

Impression de tout ou partie des résultats de calcul

La commande **Imprimer** de la feuille **Résultats des calculs** ouvre une boîte de dialogue permettant le choix des tableaux de résultats à imprimer, puis des options d'impression selon le standard Windows.

Il est possible de demander l'impression, sur le même document, des résultats de calculs de valeurs admissibles (cf. partie 8) éventuellement réalisés préalablement au lancement du calcul Alizé-mécanique. Les cases à cocher de la feuille **Alizé-Lcpc Mémo**, qui s'ouvre alors simultanément à la feuille **Résultats des calculs**, permettent de sélectionner les calculs de valeurs admissibles dont l'impression des résultats est demandée.

En situation de calcul comportant des variantes, deux modes d'impression des résultats sont possibles : Impression page par page. Cette option permet l'impression, sur une même page, des résultats de plusieurs variantes de calcul successives. La sortie des feuilles sur l'imprimante ne s'effectue alors que si l'une des 2 conditions suivantes est vérifiée: page complètement remplie, ou fermeture de la feuille Résultats des calculs. Le choix de cette option conduit, en général, à une sortie différée des feuilles sur l'imprimante.

Impression directe. Dans ce cas la commande **Imprimer** déclenche directement l'impression des résultats de la variante affichée à l'écran, sans attendre que la page soit éventuellement complétée par les résultats d'une variante ultérieure.

Le choix entre ces deux options d'impression des calculs comportant des variantes s'effectue par la commande **Configurer Alizé/Personnaliser** cadre Mode d'impression des variantes, la barre de menu principal (cf. figure 5.3).

La figure 7.4 présente un exemple d'impression des résultats de calculs Alizé-mécanique.

Enregistrement sur fichier des résultats

La commande **Enregistrer** de la feuille **Résultats des calculs** permet l'enregistrement sur fichier des tableaux de résultats. Une boîte de dialogue permet le choix des tableaux de résultats à enregistrer, et le choix du séparateur pour le formatage des données.

Dans le cas où des calculs de valeurs admissibles ont été effectués préalablement au lancement du calcul Alizé- mécanique, il est également possible de demander l'enregistrement de certains ou tous ces calculs sur le même fichier, à la suite des résultats du calcul Alizé. La procédure est identique à celle décrite dans ce qui précède pour l'impression des résultats de calcul.

7. Alizé-mécanique : résultats des calculs

Alizé-Lcpc - Dimensionnement des structures de chaussées selon la méthode rationnelle Lcpc-Sétra

Signalement du calcul :

données Structure en saisie écran :

origine fichier : C:\...\Az32-bib dat1\Rcd-béton SE1.dat

titre de l'étude : Rociade SE voie VL sortie PK12.325 - solution BC5g

données Chargement :

jumelage standard de 65 kN

pression verticale : 0.6620

MPa rayon de contact :

0.1250 m entraxe jumelage :

0.3750 m

unités : m, MN et MPa ; déformations en $\mu\text{d}\acute{e}\text{f}$; déflexions en mm/100

notations :

X=axe transversal Y=axe longitudinal Z=axe vertical

R=axe vertical roue J=axe

vertical entre-jumelage

Tableau 1+2 (synthèse) :

tractions principales majeures dans le plan horizontal XoY et

compressions principales majeures selon la verticale ZZ ; déflexion maximale

	niveau calcul	EpsilonT horizontale	SigmaT horizontale	EpsilonZ verticale	SigmaZ verticale
-----surface (z=0.000) -----					
h= 0.040 m	0.000m	27.2 X-R	0.264 X-J	42.6 Z-R	0.659 Z-R
E= 5400.0 MPa					
nu= 0.350	0.040m	19.3 X-R	0.187 X-J	50.4 Z-R	0.640 Z-R
-----collé (z=0.040m) -----					
h= 0.190 m	0.040m	19.3 X-R	0.997 X-J	0.7 Z-R	0.640 Z-R
E= 35000.0 MPa					
nu= 0.250	0.230m	-31.4 Y-J	-1.342 Y-J	21.2 Z-R	0.128 Z-R
-----glissant (z=0.230m) -----					
h= 0.180 m	0.230m	20.2 X-R	0.603 X-J	-9.9 Z-R	0.128 Z-R
E= 20000.0 MPa					
nu= 0.250	0.410m	-25.6 Y-J	-0.646 Y-J	15.6 Z-J	0.014 Z-J
-----collé (z=0.410m) -----					
h= 0.350 m	0.410m	-25.6 Y-J	0.002 Y-R	82.7 Z-J	0.014 Z-J
E= 150.0 MPa					
nu= 0.350	0.760m	-46.6 Y-J	-0.006 Y-J	81.9 Z-J	0.008 Z-J
-----collé (z=0.760m) -----					
h infini	0.760m	-46.6 Y-J	0.001 Y-R	148.4 Z-J	0.008 Z-J
E= 50.0 MPa					
nu= 0.350					

Déflexion maximale = 36.2 mm/100 (entre-jumelage)

Rayon de courbure = 3075.6 m (entre-jumelage)

Figure 7.4 : Résultats d'un calcul Alizé-mécanique (exemple)

7.2. Résultats des calculs de type Grille

L'achèvement du calcul Alizé de type Grille ouvre une fenêtre **Résultats**.

La description en termes de géométrie, de paramètres mécaniques (module d'Young et coefficient de Poisson) et de type d'interface de la structure est rappelée. La commande **Voir Chargt** permet de visualiser le chargement (charge de référence ou charge spéciale) utilisé pour les calculs.

Trois modes de présentation des résultats des calculs sont proposés (cf. figure 7.5) :

- Présentation sous forme de profils de résultats ;
- Présentation sous la forme de surfaces d'isovaleurs 2D et 3D ;
- Enregistrement sur fichier pour exploitation indépendante à l'aide d'un tableur-grapheur approprié.

Outre les résultats des calculs Grille-séca en termes de bassins de déflexions, de contraintes et de déformations créés dans la structure de chaussée par la charge considérée (charge de référence ou chargement spécial), les résultats peuvent également être présentés en termes de dommages provoqués dans les différents matériaux par cette charge. Si cette seconde forme de présentation des résultats est demandée, les paramètres nécessaires aux calculs des dommages sont définis dans une fenêtre spéciale « Paramètres d'endommagement et de balayage » après avoir sélectionné la case « Option calculs de dommages » dans la fenêtre de définition des paramètres du calcul Grille (cf. figure 6.3). La mise en œuvre de l'option Calcul des dommages est détaillée plus bas, cf. §7.3).

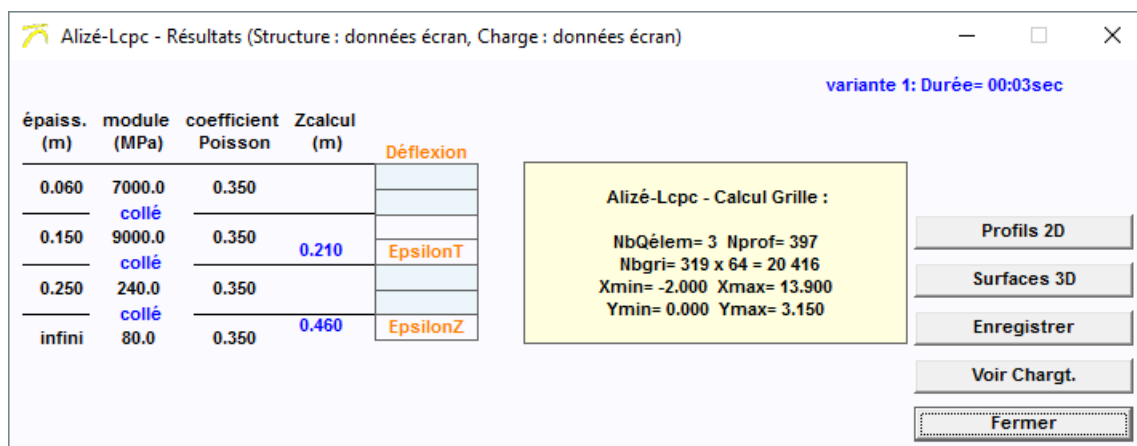


Figure 7.5 : Résultats d'un calcul Grille-séca, choix du mode de visualisation des résultats

Présentation des résultats sous forme de profils de résultats

Ce mode de visualisation est activé par la commande **Profils 2D** de l'écran **Résultats**. Il ouvre l'écran **Calcul Grille-séca**

Profils de résultats selon XX, YY ou pq. Un grapheur 2D intégré à la fenêtre permet la représentation des paramètres spécifiés selon les axes XX ou YY (cf. figures 7.6 et 7.7).

La représentation dans le diagramme p, q ou EpsilonD, EpsilonV des chemins de contraintes ou de déformations supportés par les différents matériaux sous l'effet du chargement, est également possible. Il faudra alors avoir spécifié, pour ces matériaux et niveaux de calcul, l'un des paramètres SigmaT, EpsilonT, SigmaZ ou EpsilonZ (cf. §6.3).

7. Alizé-mécanique : résultats des calculs

La commande **Valeurs Min-max** établit un tableau comportant, pour chaque paramètre calculé (cf. §6.3), les valeurs minimales et maximales obtenues, ainsi que la localisation de ces valeurs extrémales (figure 7.6).

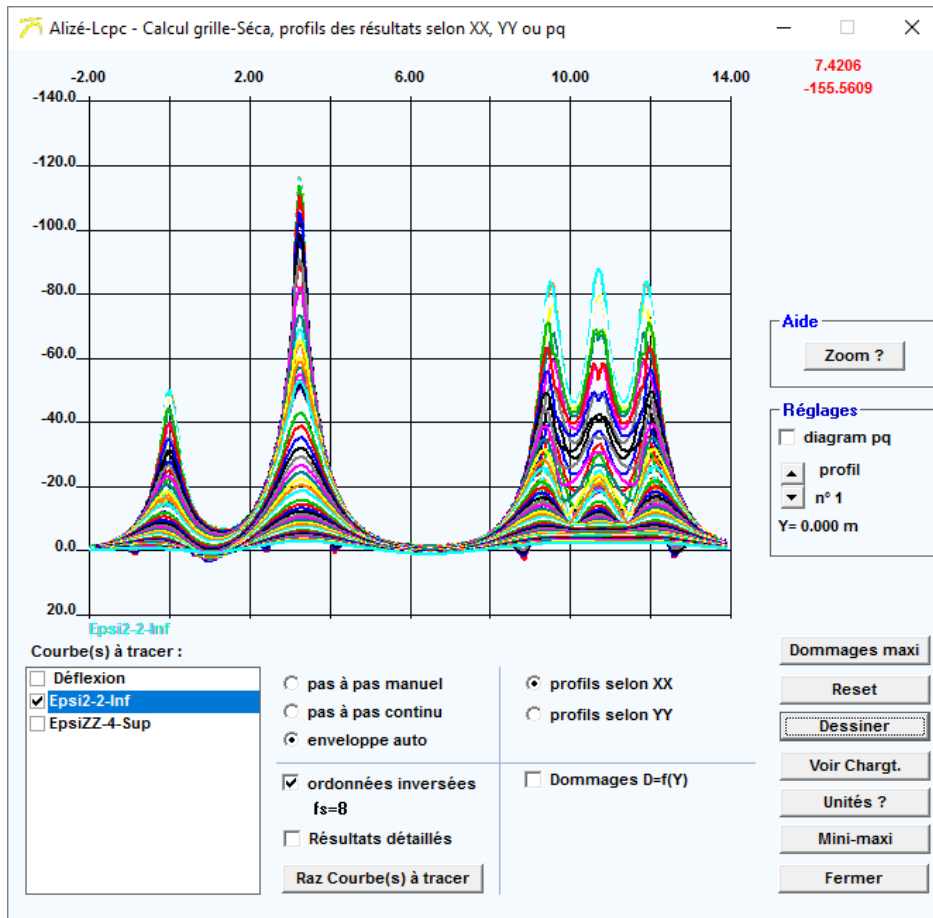


Figure 7.6 : Résultats d'un calcul Grille-séca, exemple de visualisation des résultats selon le mode **Profils 2D**, cas de profils horizontaux de résultats

7. Alizé-mécanique : résultats des calculs

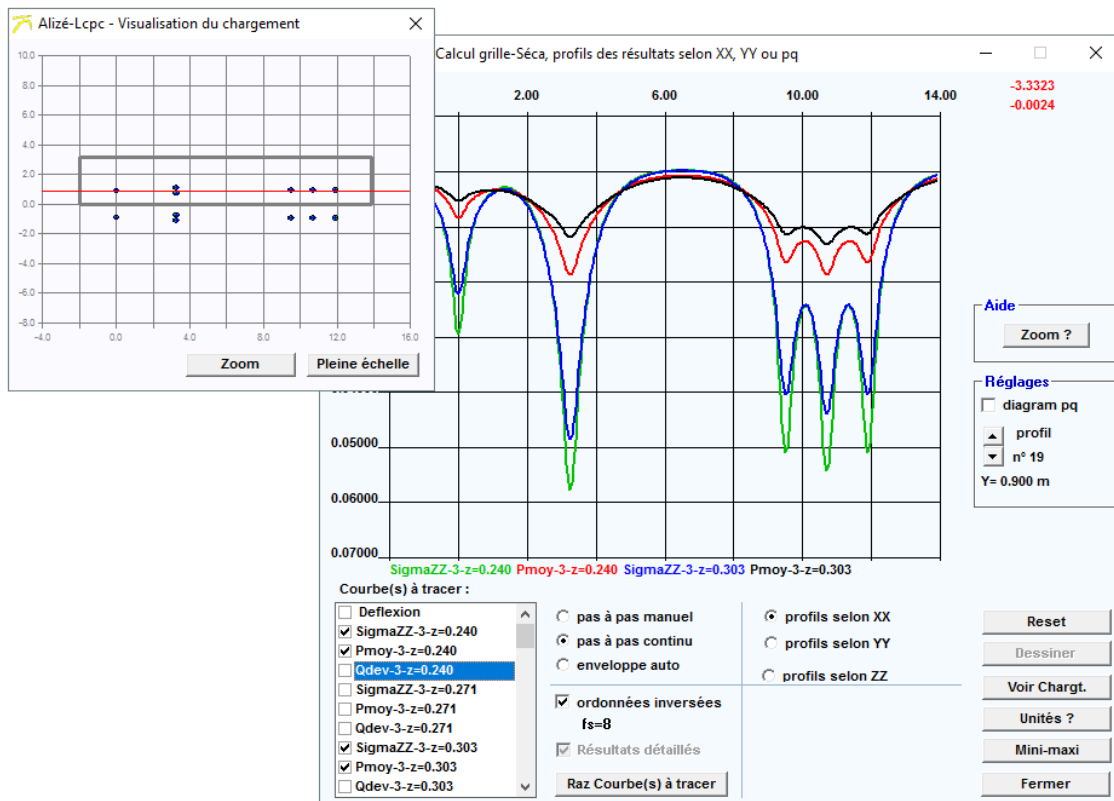


Figure 7.7 : Résultats d'un calcul Grille-séca, exemple de visualisation des résultats selon le mode Profils 2D, cas de profils verticaux de résultats

L'utilisateur est guidé dans la mise en œuvre du grapheur, par un ensemble d'aides contextuelles et d'avertissements très détaillés.

Présentation des résultats sous forme de Surfaces d'isovaleurs 2D et 3D

Ce mode de visualisation est activé par la commande **Surfaces 3D** de l'écran Résultats. Il ouvre l'écran **Visualisation 2D et 3D des résultats de calculs mécaniques**.

Un grapheur 2D-3D intégré permet la visualisation sous formes de cartes d'isovaleurs en couleur, des résultats de calcul (cf. figure 7.8). Le plan de référence pour l'établissement des cartes est obligatoirement le plan horizontal XoY. Pour basculer automatiquement de la représentation 2D à la représentation 3D, l'utilisateur utilisera les boutons d'option.

Un clic sur le bouton droit de la souris ouvre une boîte de dialogue permettant de définir des options personnalisées de visualisation (en langue anglaise).

La capture des courbes et surfaces de résultats affichées à l'écran, pour insertion en tant qu'image dans les applications sous Windows de Microsoft Corporation de traitement de texte et d'images, se fait via les touches Alt+Imp.écr. L'insertion dans ces applications sous Windows s'effectue par la commande **Edition/Collage spécial** proposée en général au menu principal de ces applications.

7. Alizé-mécanique : résultats des calculs

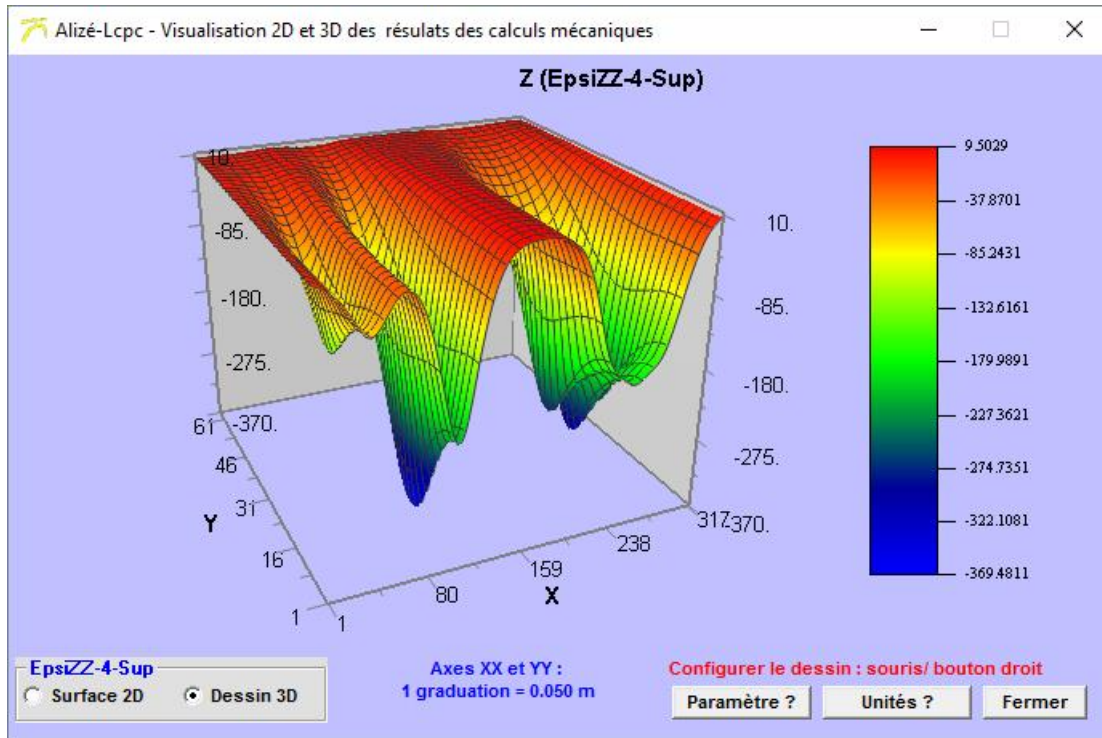


Figure 7.8 : Résultats d'un calcul Grille-séca, exemple de visualisation des résultats selon le mode Surfaces d'isovaleurs 2D et 3D

Enregistrement sur fichier des résultats des calculs Grille-séca

En situation de calcul Grille-séca, la commande **Enregistrer** de la fenêtre **Résultats des calculs** Alizé déclenche l'ouverture de la fenêtre **Calculs Grille-séca**, enregistrement sur fichiers (cf. figure 7.9).

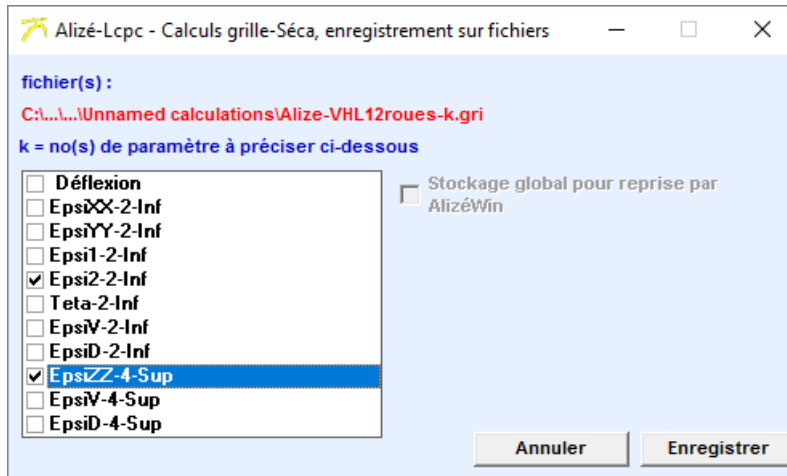


Figure 7.9 : Résultats d'un calcul Grille-séca, boîte de dialogue pour l'enregistrement sur fichiers de résultats

7.3. Résultats des calculs de type Grille-séca – Profils transversaux de dommage

La présentation des résultats d'un calcul Grille-séca sous la forme de profils transversaux de dommages créés dans les différentes couches de matériaux par la charge (charge de référence ou charge spéciale) repose sur les données et les hypothèses suivantes :

Chargement :

- La direction de déplacement de la charge à la surface de la chaussée est obligatoirement l'axe des abscisses XX ;
- La charge possède obligatoirement une symétrie selon l'axe longitudinal XX (figure 7.10).

Expression générale de l'endommagement.

L'endommagement créé par la charge peut être calculé dans les couches de chaussées justifiant :

- d'un critère d'endommagement en fatigue par traction-flexion (matériaux traités), comme exposé en annexe A1. Le paramètre gouvernant l'endommagement est alors la déformation horizontale principale mineure (matériaux hydrocarbonés) notée Epsi2, ou la contrainte horizontale principale mineure (matériaux cimentaire) notée Sigma2.
- ou d'un critère d'endommagement par plastification (orniérage des matériaux non traités et des sols). Le paramètre gouvernant l'endommagement est alors la déformation verticale mineure, notée EpsiZZ.

Il est également possible de calculer le dommage associé à toute autre composante du tenseur des contraintes ou des déformations. Cependant, selon le modèle de dimensionnement rationnel Lcpc-Sétra, seuls les dommages associés aux grandeurs Epsi2, Sigma2 et EpsiZZ représentent l'endommagement maximal supporté par le matériau au niveau de calcul considéré.

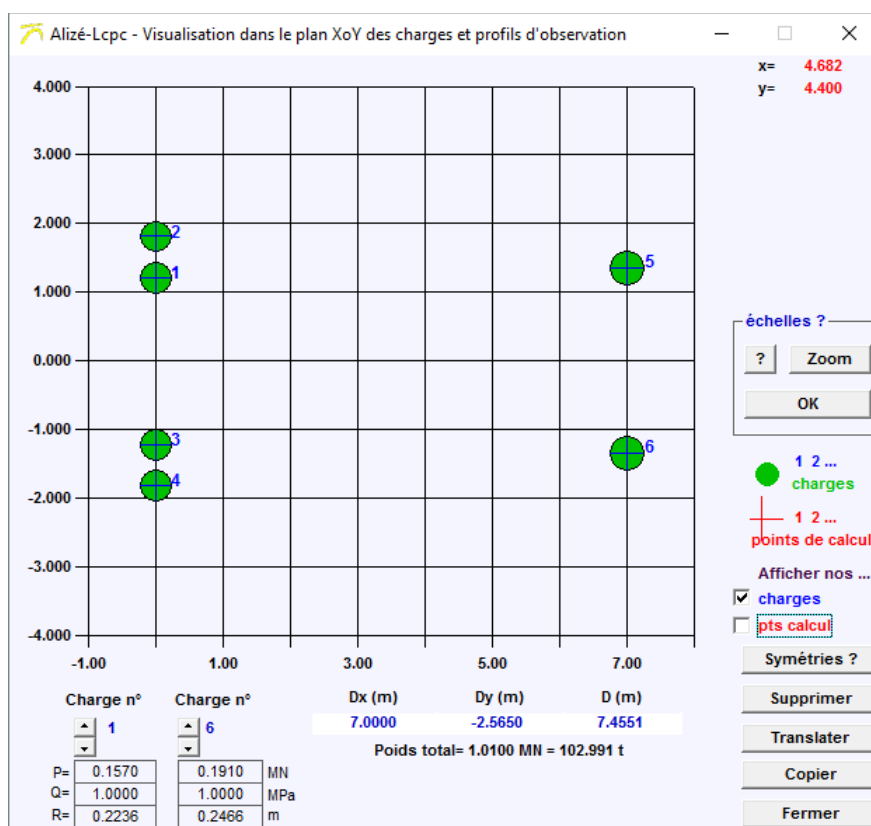


Figure 7.10 : Données Chargement pour un calcul Grille-séca avec calcul de l'endommagement (exemple direction obligatoire de circulation = axe longitudinal XX symétrie longitudinale obligatoire selon axe XX)

L'endommagement est calculé par intégration des dommages élémentaires - au sens de la loi de Miner – associés au paramètre sélectionné (Epsi2 ou Sigma2 ou EpsiZZ), le long de chacune des génératrices longitudinales de la grille de calcul Grille-séca. La figure 7.11 présente l'expression détaillée de l'intégrale de la loi de cumul de Miner. Pour un matériau, un niveau de calcul et un paramètre Epsi2, Sigma2 ou EpsiZZ, le dommage créé par la charge sera donc représenté par un profil transversal Dommage = f(Y) agrégeant les dommages calculés sur chaque génératrice longitudinale.

Le balayage transversal de la charge est pris en compte, le cas échéant, en faisant l'hypothèse d'une distribution gaussienne normale-centrée des excentremets des passages de la charge, par rapport à l'axe de déplacement moyen

L'endommagement résultant de cette distribution transversale est calculé en adoptant à nouveau le principe d'additivité des dommages (loi de Miner).

7.3.1. Données nécessaires au calcul de l'endommagement.

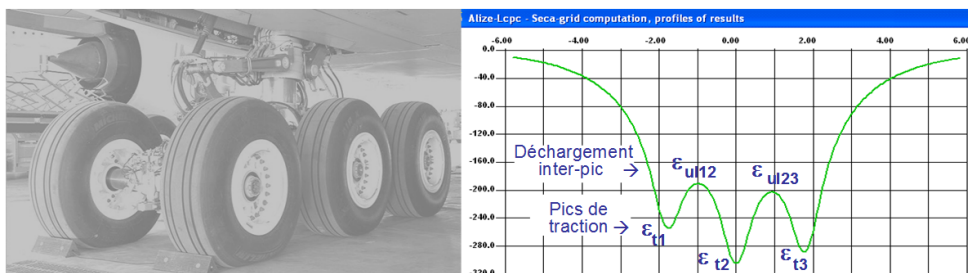
Outre l'ensemble des données de structures et de chargement nécessaires aux calculs Grille-séca, le calcul des endommagements nécessite les données supplémentaires suivantes, dont la saisie s'effectue dans la fenêtre **Paramètres d'endommagement** et de balayage après avoir sélectionné la case **Option calculs de dommages** dans la fenêtre de définition des paramètres du calcul Grille (cf. figures 6.3 et figure 7.12).

- Modèle multipic fixant le mode d'intégration des dommages élémentaires selon les axes longitudinaux XX : seul le modèle Multipic-Miner objet de la figure 7.11 est disponible dans la présente version du programme Alizé Route.
- Paramètres de fatigue Valeurs admissibles et pente $-1/b$. Le calcul de la valeur admissible prend notamment en compte le trafic cumulé correspondant au nombre total de passages de la charge considérée, sur toute la durée de service de la chaussée. Ce calcul peut s'effectuer à l'aide de la feuille Valeur admissible du programme Alizé (avec CAM = 1), cf. chapitre 8 du présent manuel.

Le calcul des valeurs admissibles est également accessible directement depuis la fenêtre **Paramètres d'endommagement et de balayage**, via le bouton **Valeurs admissibles**.

Lorsque les valeurs admissibles sont calculées, elles apparaissent dans la fenêtre **Alizé-Lcpc Mémo** et peuvent être reportées, avec la pente $-1/b$ dans la fenêtre des paramètres d'endommagement via la démarche suivante :

- Cocher la case du matériau concerné dans la fenêtre **Alizé-Lcpc Mémo** (Attention, une seule case doit être cochée pour que le report des valeurs soit possible).
- Cliquer sur la flèche à droite du matériau concerné dans la fenêtre **Paramètres d'endommagement et de balayage**.
- Balayage transversal de la charge. Il est défini par la largeur de balayage, éventuellement nulle, correspondant à 2 écarts types de la distribution des excentremets de trajectoire par rapport à la trajectoire moyenne (axe longitudinal XX), en adoptant l'hypothèse d'une distribution gaussienne (normale- centrée).



Exemple : chaussée aéronautique sous bogie 6 roues - profil des déformations de traction Epsi2 à la base de la couche de base (GB3) selon un profil longitudinal PX1

7. Alizé-mécanique : résultats des calculs

Loi de dommage (matériaux traités, GNT et sols) : $s = K \times N^b$

avec s = contrainte ou déformation réversible (= Sig2, Epsi2 ou EpsiZZ, ou autre grandeur...)

Dommage élémentaire (Miner) : $D_e = \frac{1}{N} = \left[\frac{s}{K} \right]^\alpha$ avec $\alpha = -1/b$

$$\rightarrow \delta D = \frac{\alpha}{K^\alpha} s^{\alpha-1} ds$$

Formulation intégrale de la loi de Miner (intégration continue selon l'axe de déplacement de la charge) :

$$D = \frac{\alpha}{K^\alpha} \int_{-\infty}^{+\infty} s^{\alpha-1} \text{pos} \left[\frac{ds(x)}{dx} \right] dx \quad \text{avec } \text{pos}(x) = \begin{cases} x & \text{si } x \geq 0 \\ 0 & \text{si } x < 0 \end{cases}$$

Exemple : dommage créé par un passage de tridem aéronautique

Cf. graphe ci-dessus $\varepsilon_{t2}(x) = f(x)$

$$1 \text{ passage : } D_{\text{tridem}}^{1 \text{ pas}} = K^{1/b} \left[\varepsilon_{t1}^{-1/b} + \varepsilon_{t2}^{-1/b} + \varepsilon_{t3}^{-1/b} - \varepsilon_{ul12}^{-1/b} - \varepsilon_{ul23}^{-1/b} \right]$$

N passages (sans balayage) : $D_{\text{tridem}}^{N \text{ pas}} = N D_{\text{tridem}}^{1 \text{ pas}}$

$$D_{\text{tridem}}^{N \text{ pas}} = \varepsilon_{\text{tadm}}^{1/b} \left[\varepsilon_{t1}^{-1/b} + \varepsilon_{t2}^{-1/b} + \varepsilon_{t3}^{-1/b} - \varepsilon_{ul12}^{-1/b} - \varepsilon_{ul23}^{-1/b} \right]$$

avec $\varepsilon_{\text{tadm}}$ = déformation admissible associée à N passages par la loi de fatigue

Figure 7.11 : Expression du dommage exprimé comme l'intégrale continue de la loi de Miner selon un axe longitudinal de déplacement de la charge

Alizé-Lcpc - Paramètres d'endommagement et de balayage

épais. (m)	module (MPa)	coef. Poisson	niveaux interface (m)	niveaux calcul (m)	Critère	Modèle multiplic	Valeur admissible	Pente -1/b
			0.000	0.000				
0.060	7000.0	0.350		0.060				
	collé		0.060	0.060				
0.220	9000.0	0.350		0.280	EpsilonT	Miner "intégral"	171.1	5
	collé		0.280	0.280				
0.250	360.0	0.350		0.530				
	collé		0.530	0.530	EpsilonZ	Miner "intégral"	1004.1	4.505
infini	120.0	0.350						

Balayage= 2xécarts type (m)=

Attention :
Déplacement obligatoire de la charge selon axe XX "Compensation" du balayage standard

Nota: 1/0.222 = 4.505

Figure 7.12 : Données complémentaires aux données Grille-séca, nécessaires aux calculs d'endommagement

7.3.2. Calcul de Kc pour les plateformes logistiques.

La détermination des valeurs admissibles lors des calculs de charges spéciales liées au dimensionnement des plateformes logistiques peut nécessiter une valeur différente du coefficient de calage Kc par rapport au trafic routier standard.

L'outil **Kc PF logistiques** permet une détermination du Poids équivalent à l'essieu Pég pour un trafic spécial, conformément aux propositions de l'article RGRA n°916 de décembre 2013. Il précise les valeurs de Kc proposées en fonction de ce calcul. (figure 7.13)

Les informations demandées sont les suivantes :

- Définition des charges spéciales à prendre en compte dans le trafic (utilisation du chargement en cours dans le module « Charges spéciales » ou sélection d'un fichier de chargement) : Le poids total de l'engin considéré, le nombre d'essieux, le nombre de roues par essieu et les poids par roues sont automatiquement importés.
- Nombre cumulé de passages sur la durée de calcul pour chaque chargement

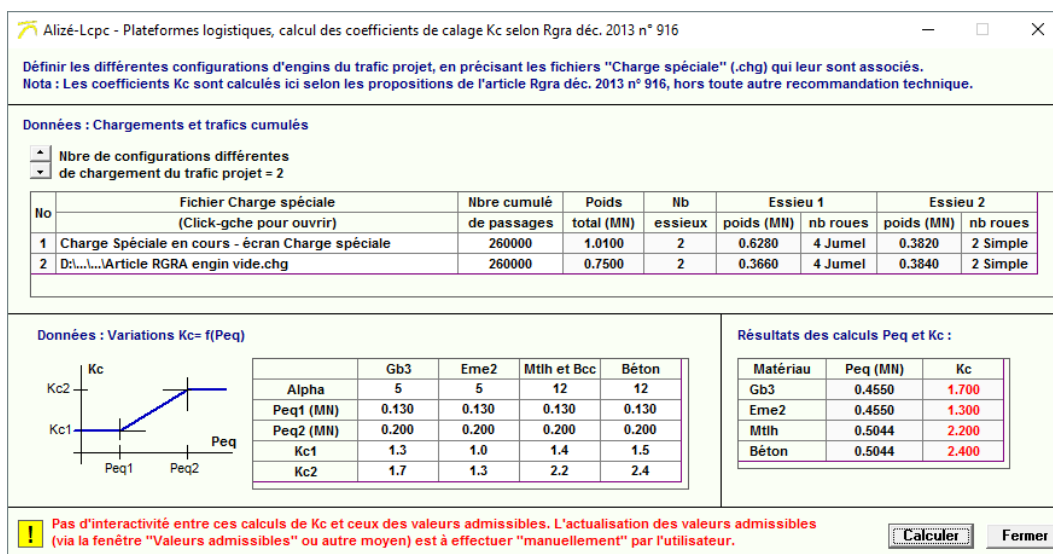


Figure 7.13 : Fenêtre de calcul des Peq et Kc

Les résultats de calcul, pour le trafic global étudié, sont :

- Le Poids équivalent à l'essieu, calculé conformément à l'article RGRA n°916 de décembre 2013, pour les différents types de matériau,
- Le coefficient Kc recommandé, à prendre en compte pour le calcul des valeurs admissibles.

7.3.3. Présentation des résultats en dommages.

L'accès aux résultats des calculs Grille-séca option endommagement s'effectue par la commande Profils 2D de l'écran **Résultats**. Il ouvre l'écran **Calcul Grille-séca - profils de résultats selon XX, YY ou pq.**, dont la présentation détaillée est faite au §7.2. La visualisation des profils de dommages $D(Y)=f(Y)$ selon le demi-axe transversal YY s'effectue en activant la coche Dommage $D=f(Y)$, cf. figure 7.13.

Après sélection des paramètres dont le tracé des profils de dommages $D=f(Y)$ est demandé (cf. menu déroulant **Courbe(s) à tracer**), l'affichage écran de ces profils s'effectue à l'aide de la commande **Dessiner**. Pour chaque paramètre sélectionné, les 2 profils transversaux de dommages $D=f(Y)$ - avec et sans balayage transversal - sont reproduits sur le graphique.

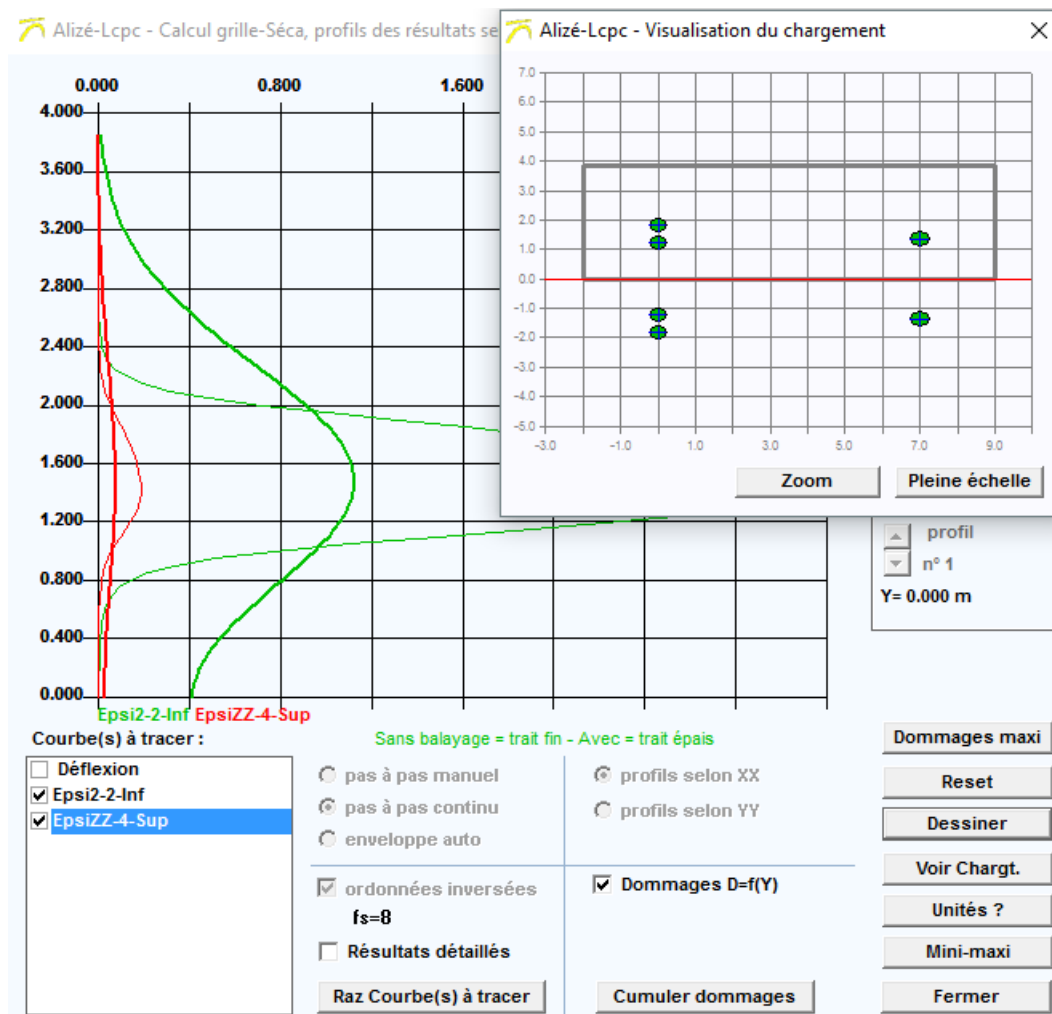


Figure 7.13 : Calculs Grille-séca, option Endommagement – Profils de résultats Dommages $D=f(Y)$

7. Alizé-mécanique : résultats des calculs

L'enregistrement sur fichier des résultats des calculs Grille-séca s'effectue à l'aide de la commande **Enregistrer** de la **fenêtre Résultats des calculs** Alizé. Cette commande déclenche l'ouverture de la fenêtre **Calculs Grille-séca**, enregistrement sur fichiers, (cf. §7.2).

La fonction **Cumuler dommages** permet d'additionner les dommages liés à des charges différentes qui vont circuler sur une même structure.

En cochant la case Dommages cumulés qui s'affiche ensuite au-dessus de la commande **Cumuler dommages**, on peut à l'aide de la commande **Dessiner**, afficher les profils de dommages cumulés $D=f(Y)$ liés à plusieurs charges (figure 7.14).

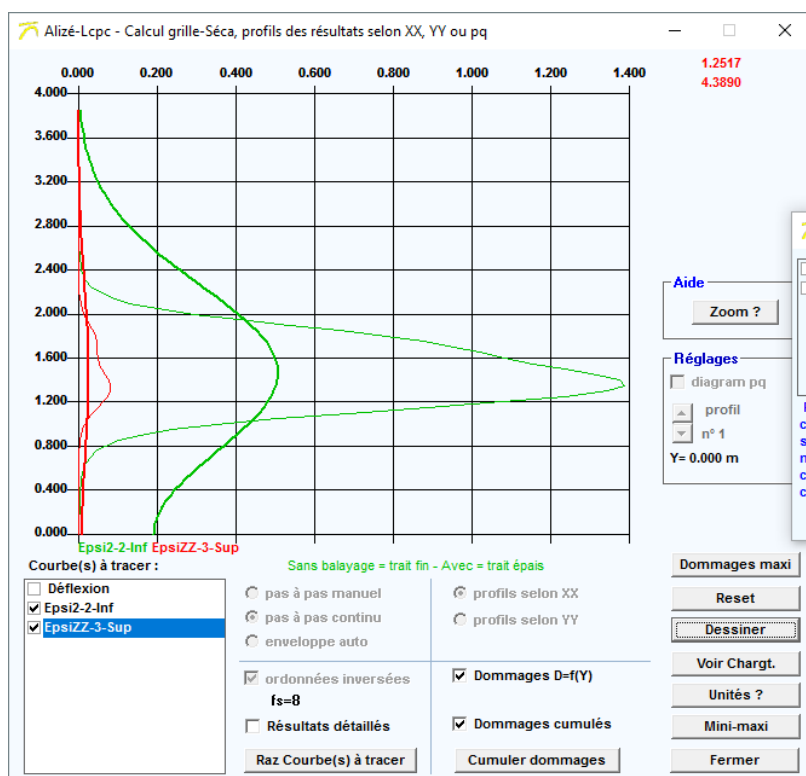


Figure 7.14 : Calculs Grille-séca, option Endommagement – Profils de résultats Dommages cumulés $D=f(Y)$

La commande **Dommages maxi**, ouvre une fenêtre Récapitulation des **dommages individuels et cumulés** qui présente un tableau récapitulatif des résultats.

Pour chaque fichier de chargement pris en compte sur la structure, on obtient la valeur de dommage liée au critère pris en compte dans chacun des différents matériaux de la structure de chaussée.

Le cumul d'endommagement dû aux différents chargements est affiché en rouge pour chaque matériau (figure 7.15).

La commande **Mémo** présente un récapitulatif des données et résultats de tous les calculs de dommages effectués.

6eb-bbsg3-7000MPa/c/ 26eb-gb3-9000MPa/c/ pf4-200MPa						
Critère	Calcul	Chargement	Sans balayage	Avec balayage	Balayage + compensation	
Epsi2-2-Inf	no 5	D:\... \Article RGRA engin vide.chg - Ptotal= 0.7500 MN (= 76.479 tonnes)	0.320	0.092	/	
Epsi2-2-Inf	no 6	D:\... \Article RGRA engin charge.chg - Ptotal= 1.0100 MN (= 102.991 tonnes)	1.068	0.415	/	
		Cumul	1.388	0.507	/	
EpsiZZ-3-Sup	no 5	D:\... \Article RGRA engin vide.chg - Ptotal= 0.7500 MN (= 76.479 tonnes)	0.024	0.006	/	
EpsiZZ-3-Sup	no 6	D:\... \Article RGRA engin charge.chg - Ptotal= 1.0100 MN (= 102.991 tonnes)	0.058	0.020	/	
		Cumul	0.082	0.026	/	

Figure 7.15 : Tableau récapitulatif des dommages individuels et cumulés

8. Alizé-mécanique : calculs des valeurs admissibles



8.1. Utilisation de la feuille Calcul des valeurs admissibles

Alizé-Lcpc intègre une feuille pour le calcul des valeurs admissibles conformément au guide technique Conception et dimensionnement des structures de chaussées de 1994, au catalogue 98 et à la norme NFP98-086.

La démarche suivie, les sigles et les notations utilisées, de même que l'expression des différentes lois de valeurs admissibles sont celles des guides techniques et normes de référence, auxquels on devra se reporter pour plus de précision. Un exemple de calcul est présenté sur la figure 8.1.

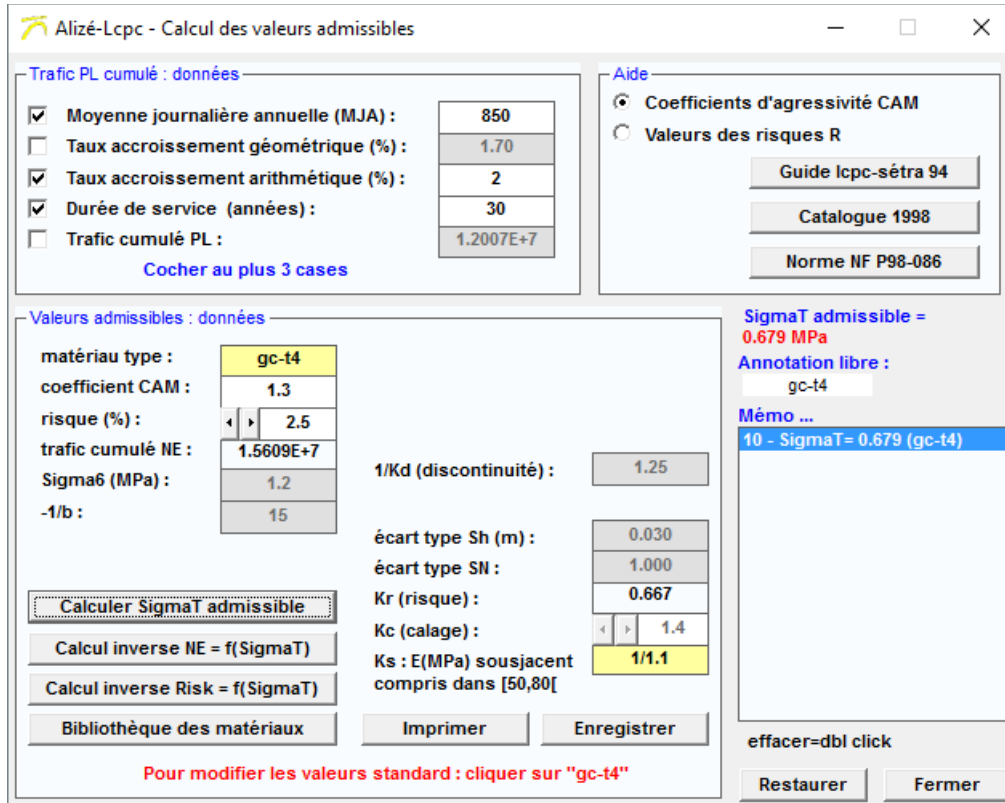


Figure 8.1 : Calcul des valeurs admissibles, exemple

8. Alizé-mécanique : calculs des valeurs admissibles

La fenêtre Calcul des valeurs admissibles est activée par la commande Valeurs admissibles de la barre de menu principal de la fenêtre du module Routier ou dans la fenêtre de définition des paramètres d'endommagement lors de l'utilisation du calcul étendu, dans le module Charges spéciales.

Les possibilités et commodités de calcul suivantes sont proposées par la feuille Valeurs admissibles :

- Calcul du trafic cumulé poids lourds NPL à partir des données habituelles MJA, taux d'accroissement annuel tg (géométrique) ou ta (arithmétique), et durée de service p ;
- Calcul inverse de 2 des cinq paramètres MJA, ta, tg, p et NPL à partir de la donnée des 3 autres paramètres ;
- Calcul direct des valeurs admissibles à partir des données de trafic, du choix de matériau et de ses paramètres et coefficients caractérisant son comportement en fatigue (matériaux traités) ou à l'orniérage par plastification (matériaux non traités et sols) ;
- Calcul indirect du trafic admissible pour un matériau donné, à partir de la donnée de la sollicitation qu'il supporte et du paramètre risque de calcul, par inversion de la loi de fatigue ;
- Calcul indirect du paramètre risque de calcul, à partir de la donnée de la sollicitation supportée par le matériau et du trafic appliqué (cf. exemple de la figure 8.2) ;
- Consultation de la bibliothèque des matériaux qui rappelle les paramètres de comportement des matériaux standard (matériaux « system ») et des matériaux personnels définis par l'utilisateur (matériaux « user ») ;
- Consultation des aides extraites du guide technique **Conception et dimensionnement des structures de chaussées de 1994** et du **Catalogue 1998**, ou de la norme **NFP 98-086** pour le rappel des paramètres suivants :
 - classification du trafic,
 - coefficients d'agressivité du trafic,
 - risque de calcul pour l'établissement des valeurs admissibles .

- Calcul inverse NE = f(SigmaT)		- Calcul inverse Risque = f(SigmaT)	
Contrainte SigmaT (MPa) ?	0.812	Contrainte SigmaT (MPa) ?	0.812
Trafic cumulé NE =	4.41 millions	Trafic cumulé NE =	15.61 millions
Coefficient CAM =	1.3	Coefficient CAM =	1.3
Trafic cumulé PL =	3.39 millions	Trafic cumulé PL =	12.01 millions
Trafic MJA =	850	Risque =	6.0 %
Accroissement arith.(%) =	2		
Durée de service (ans) =	10.03		
Quitter Calcul inverse		Quitter Calcul inverse	

Figure 8.2 : Calcul des valeurs admissibles, exemple de calculs inverses $Durée\ de\ service = f(\Sigma T, risque)$ et $Risque = f(\Sigma T, trafic)$

8.2. Précisions concernant la bibliothèque de matériaux Alizé-mécanique

8.2.1. Description de la bibliothèque

La bibliothèque de matériaux du module Alizé-mécanique est appelée à la demande de l'utilisateur, afin d'affecter à un matériau donné les paramètres mécaniques d'un des matériaux consignés dans la bibliothèque, lors :

- de la définition d'une structure. Les paramètres mécaniques concernés sont alors le module d'Young E et le coefficient de Poisson ;
- de la préparation d'un calcul de valeurs admissibles. Les paramètres mécaniques concernés sont alors les paramètres de fatigue.

La bibliothèque Alizé-mécanique est classée en 4 catégories de matériaux : matériaux bitumineux, matériaux traités aux liants hydrauliques, béton, gnt et sols. Chaque catégorie comprend :

- les matériaux standard dont les caractéristiques mécaniques sont définies par le guide technique Conception et dimensionnement de chaussées de 1994 ou par la norme NFP 98-086, en fonction du choix effectué dans le menu Configurer Alizé, Configuration générale. Ces matériaux standard sont repérables par leur statut «system», leurs différents paramètres ne sont pas modifiables ;
- et le cas échéant les matériaux personnels introduits dans la bibliothèque par l'utilisateur. Ces matériaux utilisateur sont repérables par leur statut «user», leurs différents paramètres sont modifiables à la demande de l'utilisateur, et il est possible de supprimer un tel matériau de la bibliothèque.

Lors de la sélection d'un matériau bitumineux, il convient en général de régler la température afin de se placer dans une situation thermique représentative de celle du matériau dans la structure de chaussée en service. Les caractéristiques introduites dans la bibliothèque pour les matériaux bitumineux comportent en effet la description de leur susceptibilité thermique, définissant point par point une relation module d'Young = f(température) à fréquence fixée (10 Hz en conformité avec la démarche rationnelle Lcpc-Sétra). Un curseur spécifique permet de définir la température entre -15°C et +45 °C.

8.2.2. Utilisation de la bibliothèque

Il est possible de consulter, et de modifier, la bibliothèque en actionnant la **commande Bibliothèque matériaux** de la barre de menu principal dans le module Alizé-Routier (figure 8.3).

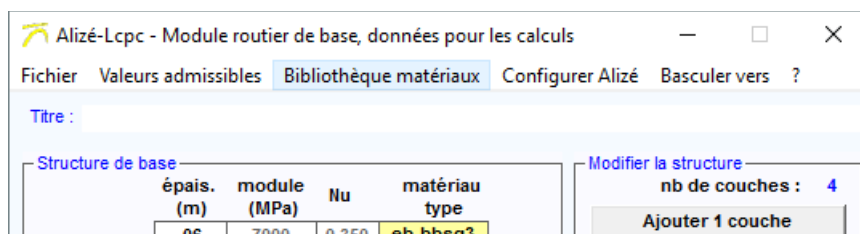


Figure 8.3 : Commande pour la consultation de la bibliothèque Alizé-mécanique

8. Alizé-mécanique : calculs des valeurs admissibles

Cette commande ouvre la feuille **Calcul mécanique – bibliothèque des matériaux**, qui affiche à l'écran, pour la catégorie de matériaux sélectionnée, la liste des matériaux standard et utilisateur, ainsi que l'ensemble des paramètres de comportement (élasticité et fatigue). Pour la catégorie des matériaux traités aux liants hydrauliques, un exemple est présenté sur la figure 8.4.

L'introduction dans la bibliothèque d'un matériau personnel de statut « user » se fait en actionnant la commande **Ajouter – Supprimer, Ajouter un matériau**. L'utilisateur doit alors renseigner les champs permettant d'affecter à ce nouveau matériau un sigle, ses paramètres d'élasticité module d'Young et coefficient de Poisson, enfin les paramètres descriptifs de son comportement en fatigue, voire pour les matériaux hydrocarbonés une courbe de susceptibilité thermique $E = f(\text{température})$ définie par deux points au minimum.

Il sera par la suite possible de modifier le sigle et/ou les paramètres attribués à un matériau personnel : ceci s'effectue en sélectionnant par un clic la ligne correspondant au matériau à modifier, qui devient alors surlignée.

Il sera également possible de supprimer de la bibliothèque Alizé-mécanique un matériau personnel donné, à l'aide de la commande **Supprimer le matériau sélectionné** de la feuille **Calcul mécanique – bibliothèque des matériaux**.

Alizé-Lcpc - Calcul mécanique, bibliothèque des matériaux

Fichier Type de matériaux Ajouter-Supprimer

Bibliothèque des matériaux standard : norme NF P98-086 (annexe F normative)

Matériaux traités aux liants hydrauliques

statut	nom	E (MPa)	nu	Sigma6(MPa)	-1/b	SN	Sh (m)	Kc	Kd
system	gc-t3	23000	0.25	0.75	15	1	0.03	1.4	1
system	gc-t4	25000	0.25	1.2	15	1	0.03	1.4	0.8
system	glhr-t3	23000	0.25	0.75	15	1	0.03	1.4	1
system	gch-t3	23000	0.25	0.75	15	1	0.03	1.5	1
system	glg-t2	15000	0.25	0.6	12.5	1	0.03	1.5	1
system	glp-t2	15000	0.25	0.6	12.5	1	0.03	1.5	1
system	glp-t3	20000	0.25	0.7	13.7	1	0.03	1.5	1
system	gcv-t3	30000	0.25	1.4	16	1	0.03	1.5	1
system	bcr-t5	28000	0.25	1.85	15	1	0.03	1.5	0.8
system	sl-t1	3700	0.25	0.175	10	0.8	0.025	1.5	1
system	sl-t2	8500	0.25	0.425	10	0.8	0.025	1.5	1
system	sl-t3	12500	0.25	0.65	10	0.8	0.025	1.5	1
system	spch-t1	3700	0.25	0.175	10	0.8	0.025	1.5	1
system	spch-t2	8500	0.25	0.425	10	0.8	0.025	1.5	1
system	spch-t3	12500	0.25	0.65	10	0.8	0.025	1.5	1
system	sc-t1	5000	0.25	0.21	12	0.8	0.025	1.5	1
system	sc-t2	12000	0.25	0.5	12	0.8	0.025	1.5	1
system	sc-t3	17200	0.25	0.75	12	0.8	0.025	1.5	1
system	scv-t1	5000	0.25	0.21	12	0.8	0.025	1.5	1

Fermer

Figure 8.4 : Bibliothèque de matériaux Alizé-mécanique, exemple de consultation

9. Alizé-gel : Préparation des données pour les calculs



9.1. Description du problème traité

Le module Alizé-gel représente l'ensemble constitué de la structure de chaussée et du massif support par un modèle multicouche unidimensionnel, composé de couches homogènes d'épaisseurs finies.

Dans les problèmes courants de vérification au gel-dégel des chaussées, la justification d'une condition de température constante à la base du modèle se traduit en pratique par une hauteur totale du modèle de plusieurs dizaines de mètres. Ainsi dans la démarche rationnelle Lcpc-Sétra, la base du modèle est fixée à 40 mètres en dessous du niveau du sommet de la partie gélive ou peu gélive de la plate-forme support de chaussée.

Les différentes couches de matériau possèdent une épaisseur constante, et leur extension dans le plan horizontal XoY est supposée infinie. Les paramètres descriptifs de la géométrie et du comportement thermique de chaque couche sont les suivants :

- l'épaisseur H
- la masse volumique du matériau ;
- la teneur en eau du matériau ;
- la conductibilité thermique du matériau dans l'état non gelé ;
- la conductibilité thermique du matériau dans l'état gelé.

Le massif constitué de la chaussée et de son massif support est soumis à deux types de conditions thermiques, constituant également des données du problème à résoudre :

- Condition de température initiale s'exprimant sous la forme d'une relation Température = fonction(Profondeur) au temps $t=0$;
- Conditions de températures sur les limites inférieure et supérieure du modèle. Ces conditions aux limites s'expriment sous la forme de deux relations : Température = fonction(Temps) à la base du massif et à la surface de la chaussée. Les conditions aux limites constituent le chargement thermique du modèle.

Le moteur de calcul du module Alizé-gel calcule l'évolution, en fonction du temps, de la température à la surface de la chaussée et aux interfaces entre les différentes couches de la structure de chaussée et de son massif support. Ces résultats sont également exprimés en termes d'évolution avec le temps des quantités de gel aux mêmes niveaux, et de l'indice de gel à la surface de la chaussée. L'indice de gel de surface est lui-même traduit en indice de gel atmosphérique. Dans les études de gel-dégel courantes, ces résultats conduisent à déterminer l'indice de gel atmosphérique (principale inconnue du problème) correspondant à une quantité de gel transmise au sommet de la plate-forme qui est, elle, connue et constitue également l'une des données du problème à résoudre.

Le programme détermine aussi la courbe d'évolution en fonction du temps de la profondeur du front de gel (surface isotherme à température nulle), ou les courbes d'évolution des fronts de gel en situation de fronts de gel multiples.

Alizé-module gel repose sur un algorithme de résolution par différences finies d'un problème couplé, dont les inconnues sont la température et la vitesse de propagation du (des) front(s) de gel éventuel(s). Il distingue trois zones à comportement thermique distinct :

- La zone non gelée dont l'équilibre thermique découle de l'équation de la chaleur sans terme source ;
- La zone gelée dans laquelle la présence de glace se traduit par des caractéristiques thermiques des matériaux gelés différentes des caractéristiques à l'état non gelé ;
- Le (les) front(s) de gel, surface(s) de séparation entre les zones gelées et non gelées, siège d'une discontinuité du gradient thermique.

Le domaine d'application privilégié d'Alizé-gel est la vérification au gel-dégel des chaussées, qui nécessite la résolution de l'équation de propagation unidirectionnelle de la chaleur dans un massif multicouche en régime bi-phasique gelé – non gelé. Plus généralement, Alizé-gel peut également être utilisé pour déterminer les évolutions avec le temps des températures dans un massif multicouche à partir de conditions de température initiales et aux limites connues, avec ou non développement de températures négatives entraînant le développement d'éventuel(s) front(s) de gel. Par exemple, il peut être utilisé pour la détermination des températures dans les couches de matériaux bitumineux, dans des études concernant le comportement à l'ornièrage par fluage de ces matériaux en période chaude.

La création d'une nouvelle structure de chaussée pour le module Alizé-gel est initiée par le choix de l'option **Module Gel-Dégel** au lancement du logiciel ou par le basculement sur une fenêtre du module Gel-Dégel après un autre calcul, via le menu **Basculer vers, Gel-Dégel**.

Deux modes de création d'une structure nouvelle pour le module Alizé-gel sont alors possibles :

1- Cas général :

La commande **Fichier/Nouveau/Nouvelle structure** de la barre de menu principal ouvre une structure de base tricouche (cf. figure 9.1).

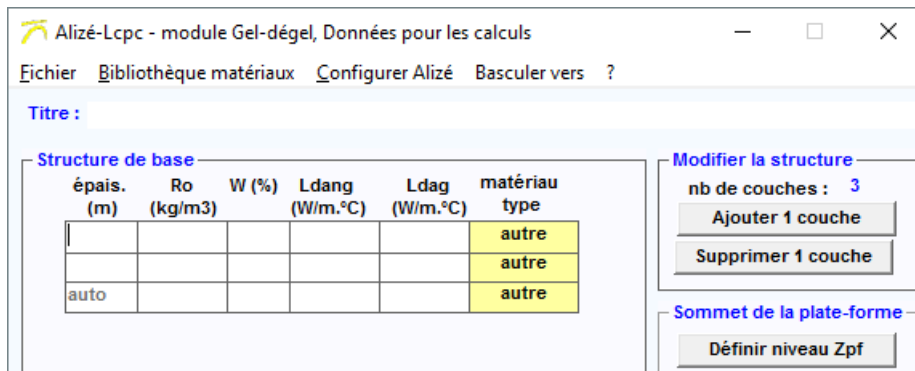


Figure 9.1 : Création d'une nouvelle structure pour le module Alizé-gel

2- Cas où une structure de chaussée pour les calculs Alizé-mécanique a préalablement été définie :

Il est possible d'importer directement cette structure de chaussée vers le module Alizé-gel (cf. figure 9.2).

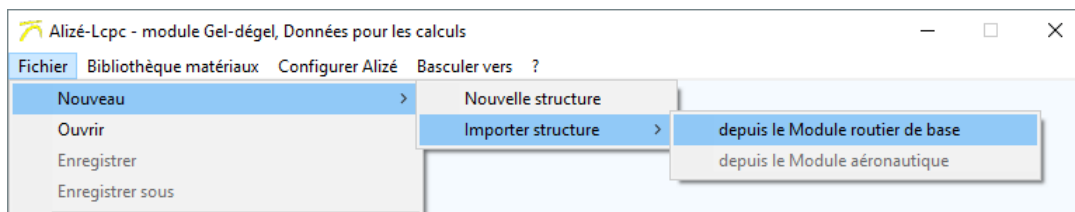


Figure 9.2 : Importation d'une structure Alizé-mécanique vers Alizé-gel

La structure importée pour les calculs Alizé-gel comporte le même nombre de couches que la structure d'origine pour les calculs mécaniques. Les épaisseurs de ces couches sont conservées, à l'exception de celle de la couche inférieure (voir §9.2). Si la structure d'origine comporte un ou plusieurs matériaux standard, une équivalence est de plus établie automatiquement entre les matériaux standard de la bibliothèque Alizé-mécanique et les matériaux standard de la bibliothèque Alizé-gel.

En fonction de l'étude à réaliser, l'utilisateur doit alors faire évoluer la structure de chaussée présentée sur l'écran **Module Gel-Dégel – données pour les calculs**, et renseigner et/ou modifier les différents champs de valeurs qui définissent son comportement thermique. Il dispose à cet effet des commandes, fonctions et aides suivantes (tableau 9.1) :

Action à réaliser	Bouton ou cellule à actionner
Ajouter une couche	«Ajouter 1 couche»
Supprimer une couche	«Supprimer 1 couche»
Définir les paramètres H (épaisseur), Ro (masse volumique), w (teneur en eau), Ldang (conductivité thermique à l'état non gelée) et Ldag (conductivité thermique à l'état gelé) des différentes couches	pour chaque matériau : cellules Epais, Ro, w(%), Ldang et Ldag
Utiliser la bibliothèque des matériaux standard	Cellule «autre» ou matériau «xxx» de la colonne « matériau type » à droite de la couche concernée
Définir le niveau de la plate-forme	«Définir niveau Zpf »
Modifier le niveau de la plate-forme lorsqu'il a été préalablement défini	«Modifier niveau Zpf »

Tableau 9.1 : Liste des commandes pour la création d'une structure de chaussée pour les calculs Alizé-gel

La figure 9.3 présente un exemple de structure pour les calculs Alizé-gel.

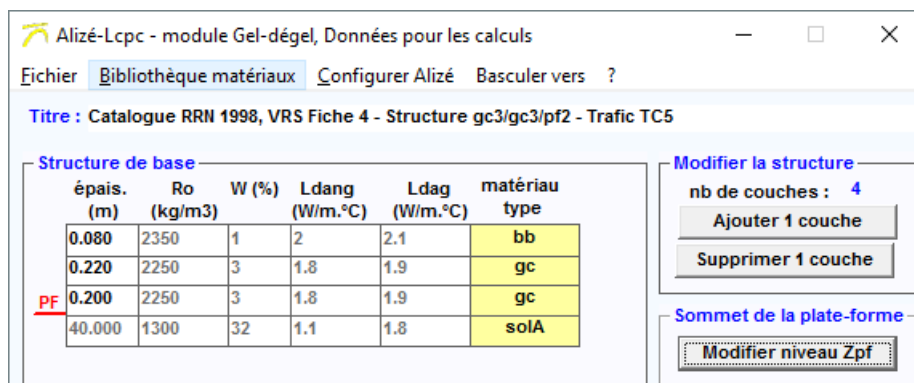


Figure 9.3 : Exemple de structure pour les calculs avec le module Alizé-gel

9.2. Quelques précisions et conseils pour la saisie des données

L'utilisateur est guidé dans la réalisation de ces différentes actions, par un ensemble complet de messages d'aide et d'avertissements en présence d'anomalies ou d'erreurs.

Quelques précisions essentielles sont rapportées ci-dessous :

- Le séparateur décimal utilisé pour l'entrée des valeurs numériques est obligatoirement celui pour lequel le système Windows a été configuré sur le PC utilisé (cf. Panneau de configuration/Options régionales et linguistiques/symbole décimal).
- Il est conseillé de renseigner la ligne réservée au titre de la structure en cours de définition, afin de faciliter par la suite son identification, par exemple lors de la relecture des données ou de l'édition des résultats des calculs.
- La détermination de l'épaisseur de la couche de matériau à la base du modèle ne donne pas lieu à une saisie directe. Cette épaisseur est en effet calculée automatiquement par le programme, à partir :
 - de la position du sommet Z_{pf} de la couche de forme dans le cas du choix des conditions de températures initiales et aux limites conformes à la méthode de vérification au gel-dégel Lcpc-Sétra (cf. §9.4) ;
 - de la hauteur totale du modèle définie par le profil vertical de températures initiales $T_0=f(z)$, dans le cas de conditions spéciales de températures initiales et aux limites, non conformes à celles de la méthode Lcpc-Sétra (cf. §9.4).
- Le nombre maximal de couches de matériaux constituant la structure de chaussée et son massif support est limité à 15. Le nombre minimal est de 2.
- Il est possible d'attribuer à l'une des couches de la structure les caractéristiques d'un matériau de la Bibliothèque du module Alizé-gel (cellule «autre» ou matériau «xxx» de la colonne « matériau type » à droite de la couche concernée). La liste des matériaux catalogués s'affiche alors sur l'écran (cf. figure 9.4). Il est possible de sélectionner :
 - soit un matériau normalisé au sens du Guide technique Conception et dimensionnement des chaussées de 1994 ou de la norme NFP 98-086. Les matériaux normalisés sont repérés par leurs sigles alphanumériques conformes aux notations du guide Technique, et repérables par leur statut de type « system » ;
 - soit un matériau personnel, qui aura préalablement été introduit par l'utilisateur dans la bibliothèque des matériaux du module Alizé-gel. Les matériaux personnels sont repérés par leur sigle alphanumérique défini par l'utilisateur, et repérables par leur statut de type « user ».

Pour des compléments sur l'utilisation de la bibliothèque des matériaux du module Alizé-gel, on se reportera au §9.6.

Les paramètres **Durée d'observation** et **DeltaT** sortie (voir feuille principale **Module Gel-Dégel**, données pour le calcul) ont pour valeurs initiales 60 jours et 1 heure respectivement. La durée d'observation est la période qui sera prise en compte par le moteur de calcul Alizé-gel pour établir les courbes d'évolution des températures, des quantités de gel et des indices de gel en fonction du temps (soit de $t=0$ à $t=\text{durée d'observation}$). La donnée **DeltaT** est l'intervalle de temps définissant la résolution de ces différentes courbes de résultats. Les valeurs proposées 60 jours et 1 heure permettent de traiter la quasi-totalité des problèmes de vérification au gel-dégel des chaussées sur le territoire français, si l'on adopte les hypothèses de la méthode rationnelle Lcpc-Sétra. Il est évidemment possible de modifier ces valeurs, en fonction du problème à traiter.

Bibliothèque des matériaux standard : norme NF P98-086 (annexe F normative)

statut	nom	Ro (kg/m3)	w (%)	Lng (W/m.°C)	Lg (W/m.°C)
system	bb	2350	1	2.00	2.10
system	gb	2350	1	1.90	1.90
system	eme	2390	1	2.35	2.40
system	sb	1990	5.5	1.5	1.7
system	gl	2150	4	1.4	1.5
system	sl	1900	7	1.1	1.3
system	gc	2250	3	1.8	1.9
system	sc	1900	8	1.42	1.66
system	cv	1350	14	0.60	0.93
system	gcv	2250	5	1.90	2.10
system	gp	2150	4	1.10	1.20
system	béton	2300	3	1.70	1.90
system	gnt	2200	4	1.80	2.00
system	solA	1300	32	1.10	1.80

Autre matériau - hors bibliothèque, paramètres libres

Figure 9.4: Ecran Bibliothèque des matériaux du module Alizé-gel, actionné par les cellules de la colonne matériau type de la feuille Alizé-module Gel-Dégel, Données pour le calcul

Enregistrement et lecture des fichiers de données

Lorsqu'une structure de chaussée a été complètement définie et avant de poursuivre dans l'utilisation du logiciel, il est recommandé de sauvegarder l'ensemble des données relatives à cette structure. La sauvegarde s'effectue par la commande **Fichier/Enregistrer** sous de la barre de menu principal. L'opération d'enregistrement sur fichier est assurée classiquement par une boîte de dialogue au standard Windows.

Les commandes **Fichier/Ouvrir** et **Fichier/Enregistrer** sont également au standard Windows. Elles permettent, quant à elles, la lecture et l'enregistrement de fichiers de structures préalablement définis.

9.3. Définition des conditions initiales et des conditions aux limites

La définition des conditions de températures initiales et des conditions aux limites dans la structure de chaussée et son massif support est un préalable indispensable à la réalisation des calculs. Ces conditions se définissent à partir des cases à cocher du cadre **Données complémentaires** de la feuille **Module Gel-Dégel, Données pour le calcul**. Deux modes de définition sont possibles :

Hypothèses de la méthode Lcpc-Sétra :

Le choix de l'option **Méthode Lcpc-Sétra** conduit à retenir les conditions de températures initiales et aux limites de la démarche rationnelle Lcpc-Sétra pour la vérification au gel-dégel des chaussées. Elles sont définies notamment par le guide technique Conception et dimensionnement des structures de chaussées de 1994 et la norme NFP 98-086. Lorsque cette option est sélectionnée, le bouton de commande **Voir** hypothèses du cadre **Données complémentaires** permet de visualiser ces conditions (cf. figure 9.5).

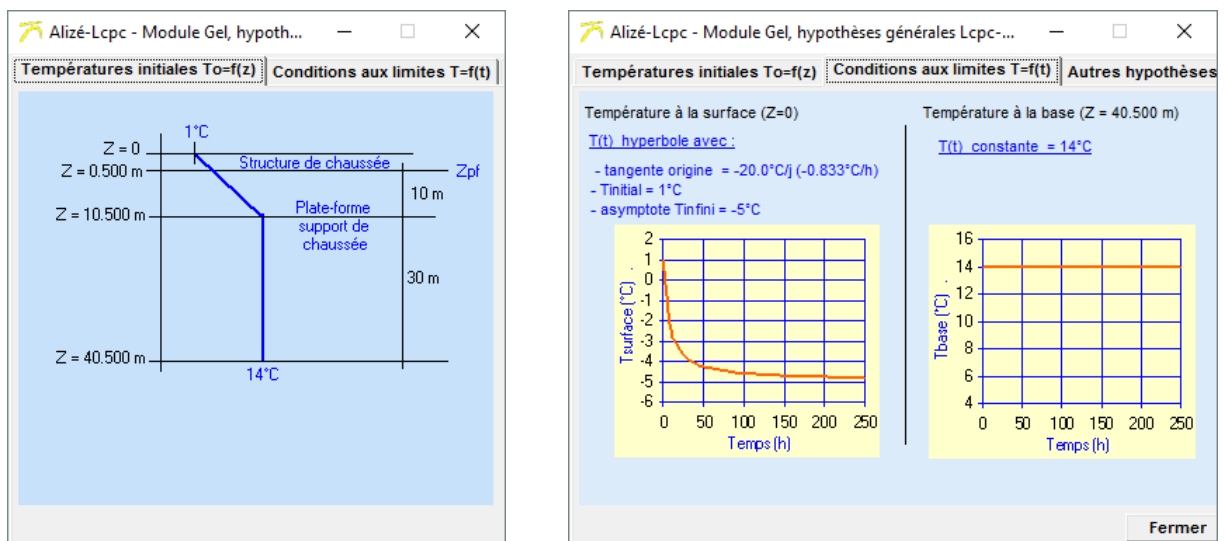


Figure 9.5: Visualisation des conditions de températures initiales et aux limites de la méthode de vérification au gel-dégel Lcpc-Sétra

Hypothèses spéciales :

Lorsque l'option Hypothèses spéciales est sélectionnée, la commande Définir-voir du cadre Données complémentaires ouvre la feuille Alizé-gel, Hypothèses spéciales.

Cette nouvelle feuille permet de saisir des conditions de températures initiales et des conditions aux limites différentes a priori de celles de la méthode de vérification au gel-dégel Lcpc-Sétra. Un exemple est présenté sur la figure 9.6.

La définition de ces conditions spéciales peut se faire selon 2 modes :

- Soit par saisie directe au clavier, afin de renseigner les 3 tableaux Températures initiales $T_o=f(z)$, Températures à la surface $T_s=f(t)$, et Températures à la base $T_b=f(t)$.
- Soit par lecture sur fichier de conditions spéciales qui y auront été préalablement sauvegardées.

Les fichiers de stockage des conditions spéciales de températures initiales et aux limites portent l'extension .hag. Ces fichiers résultent eux-mêmes :

- Soit de l'enregistrement des données consignées dans les tableaux $T_o=f(z)$, $T_s=f(t)$ et $T_b=f(t)$ de la feuille **Alizé-gel, Hypothèses spéciales**. Cet enregistrement est déclenché par la commande Enregistrer sous de cette feuille.
- Soit de leur création à l'aide d'un éditeur de texte. La commande **Modèle fichier** de la feuille **Alizé-gel, Hypothèses spéciales** renseigne sur la structure et l'arrangement des données dans les fichiers de conditions spéciales d'extension .hag.

La commande **Dessin** de la feuille **Alizé-gel, Hypothèses spéciales** permet de visualiser les profils de conditions initiales et de conditions limites consignées dans les tableaux $T_o=f(t)$, $T_s=f(t)$ et $T_b=f(t)$.

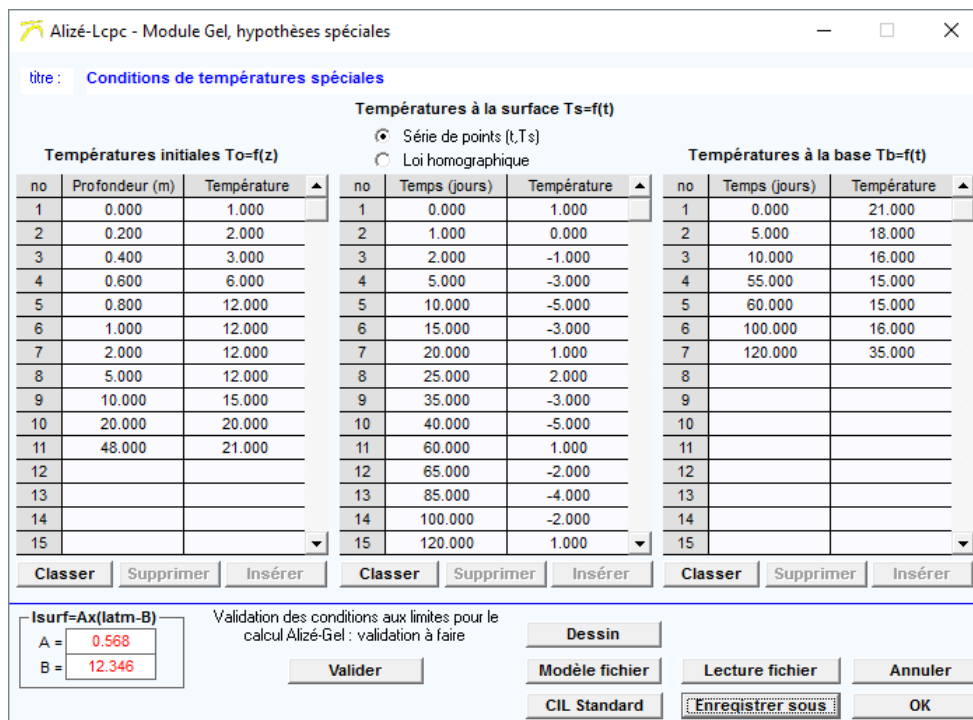


Figure 9.6: Définition de conditions de températures initiales et aux limites spéciales

Il est enfin possible de définir dans la feuille **Alizé-gel, Hypothèses spéciales**, les coefficients de la relation linéaire entre l'indice de gel à la surface de la chaussée et l'indice de gel atmosphérique, $Isurf = A \times (latm - B)$. La méthode de vérification au gel-dégel Lcpc-Sétra fixe quant à elle les valeurs $A = 0.7$ et $B = 10^\circ\text{Cjour}$.

9.4. Calcul de la quantité Qpf de gel admissible par la plate-forme

Nota : La détermination de la quantité de gel admissible par la plate-forme, Qpf, n'est pas en soi une donnée obligatoire pour la réalisation de calculs par le module Alizé-gel. Les seules données strictement nécessaires à ce calcul sont les données concernant la géométrie et les caractéristiques thermiques de la structure de chaussée et du massif support, et les données définissant les conditions de températures initiales et les conditions de températures aux limites. La définition, en tant que donnée de calcul, de la quantité de gel Qpf est cependant préconisée, quand sa détermination est possible. En effet, outre les courbes d'évolution des températures et des quantités et indices de gel, le programme déterminera alors automatiquement la valeur de l'indice de gel de surface et surtout l'indice de gel atmosphérique $latm$, correspondant à la valeur de gel Qpf transmise au sommet de la plate-forme. Dans la majorité des vérifications au gel-dégel des chaussées, cette dernière valeur de $latm$, comparée à l'indice de gel de référence du projet, permet de se prononcer directement sur la recevabilité ou non de la structure étudiée, vis-à-vis de son comportement au gel-dégel.

Figure 9.7 : Détermination de la quantité de gel Qpf admissible par la plate-forme, selon le mode de calcul spécifié par le guide technique Conception et dimensionnement des chaussées Lcpc-Sétra de 1994

La commande **Calculer Qpf** de la feuille principale **Alizé-module Gel-Dégel** ouvre la feuille **Calcul de Qpf**. Cette feuille met en œuvre la méthode de détermination de Qpf qui est spécifiée par le guide technique Conception et dimensionnement des chaussées Lcpc-Sétra de 1994 ou par la norme NFP 98-086. Les menus d'aide **Sensibilité au gel** et **Principe du calcul de Qm** sont directement issus des recommandations formulées dans ces mêmes documents de référence, auxquels on se reportera pour des précisions complémentaires. Un exemple de **calcul de Qpf** est présenté sur la figure 9.7.

Il est également possible de définir directement la valeur de Qpf sans passage par la feuille **Calcul de Qpf**, en renseignant directement le champ de saisie **Quantité de gel admissible par la plate-forme** de la feuille principale **Alizé-Gel-Dégel**.

9.5. Précisions concernant la bibliothèque de matériaux Alizé-gel

9.5.1. Description de la bibliothèque

La bibliothèque de matériaux du module Alizé-gel est appelée afin d'affecter à l'une des couches de la structure, les paramètres thermiques d'un des matériaux consignés dans cette bibliothèque.

La bibliothèque Alizé-gel comprend :

- les matériaux standard dont les caractéristiques pour les calculs au gel-dégel sont définies par le guide technique Conception et dimensionnement de chaussées de 1994 ou la norme NFP 98-086. Ces matériaux standard sont repérables par leur statut « system », leurs différents paramètres ne sont pas modifiables.
- et le cas échéant les matériaux personnels introduits dans la bibliothèque par l'utilisateur. Ces matériaux utilisateur sont repérables par leur statut « user », leurs différents paramètres sont modifiables à la demande de l'utilisateur. Il est possible d'ajouter des matériaux « user » et d'en supprimer.

9.5.2. Utilisation de la bibliothèque

La commande **Bibliothèque matériaux** de la barre de menu principal dans la feuille du module Alizé-Gel-Dégel permet de consulter, et de modifier, la bibliothèque d'Alizé-gel.

Cette commande ouvre la feuille **Vérification au gel-dégel - bibliothèque des matériaux**, qui affiche à l'écran la liste des matériaux standard et des matériaux utilisateur éventuels, ainsi que leurs paramètres thermiques (cf. figure 9.4).

L'introduction dans la bibliothèque d'un matériau personnel de statut « user » se fait en actionnant la commande **Ajouter-Supprimer**. L'utilisateur doit alors renseigner les champs permettant d'affecter à ce nouveau matériau un sigle, puis ses paramètres de comportement pour les calculs thermiques.

Il sera par la suite possible de modifier le sigle et/ou les paramètres attribués à un matériau personnel : ceci s'effectue en sélectionnant par un clic la ligne correspondant au matériau à modifier, qui devient alors surlignée.

Il sera également possible de supprimer de la bibliothèque Alizé-gel un matériau personnel donné, à l'aide de la commande **Supprimer le matériau** sélectionné de la feuille **Vérification au gel-dégel - bibliothèque des matériaux**.

10. Alizé-gel : Lancement des calculs et sortie des résultats



10.1. Commandes pour le lancement des calculs Alizé-gel

Le lancement d'un calcul Alizé-module gel s'effectue à partir de la commande Calcul Alizé-Gel de la feuille principale du module Gel-Dégel.

10.2. Résultats des calculs Alizé-gel

L'achèvement des calculs à l'aide du moteur de calcul Alizé-gel ouvre directement la feuille **Alizé-Lcpc Résultats des calculs Alizé-Gel**. Les résultats sont présentés sous la forme de cinq graphiques affichés à l'écran selon le choix de l'utilisateur :

Graphique 1

Il représente les variations de l'indice de gel à la surface de la chaussée et de l'indice de gel atmosphérique ($latm$), en fonction de la quantité de gel Q_{pf} transmise au sommet Z_{pf} de la plate-forme. Ce premier graphique fournit également la courbe de variation de $latm$ en fonction de Q_{pf} , résultant de la démarche de calcul simplifiée exposée dans le guide technique Conception et dimensionnement des chaussées de 1994 ou la norme NFP 98-086. Toutefois, cette courbe représentant la relation simplifiée $latm = f(Q_{pf})$ n'est reproduite sur ce graphique que lorsque les deux conditions suivantes sont vérifiées :

- Les matériaux composant les différentes couches de la chaussée et de son massif support sont tous des matériaux standard, catalogués sous le statut « system » dans la bibliothèque des matériaux du module Alizé- gel. Dans le cas contraire, la méthode simplifiée ne peut pas en effet être appliquée, certains coefficients restant non déterminés en cas de matériaux non standard.
- L'option **Rappeler les résultats de la méthode** simplifiée doit avoir été sélectionnée préalablement. Cette option est accessible par la commande **Configurer Alizé/Préférences Gel-Dégel** de la barre de menu principal (cf. figure 10.1).

Dans le cas où la valeur de la quantité de gel Q_{pf} admissible par la plate-forme a été préalablement déterminée (cf.

§9.5), l'indice de gel atmosphérique pour lequel la quantité de gel transmise au sommet de la plate-forme est égale à la quantité Q_{pf} est également figurée à l'écran. C'est sur la base de la comparaison entre cette valeur de $latm$ et l'indice de référence IR du projet, que l'utilisateur se prononcera sur la vérification au gel-dégel de la structure de chaussée étudiée, ou sa non-vérification. Un exemple de graphique 1 est reproduit sur la figure 10.2 présente un exemple de courbes de résultats $IS = f(Q_{pf})$ et $latm = f(Q_{pf})$.

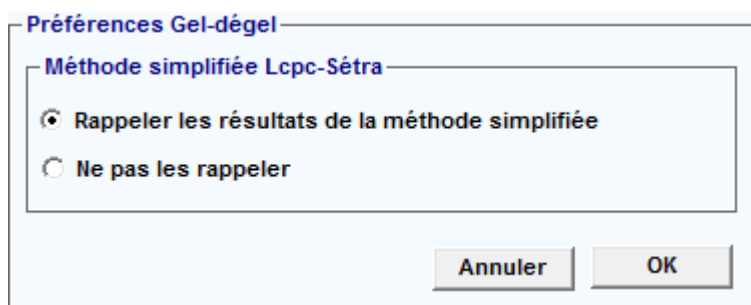


Figure 10.1: Choix de l'option Rappeler ou non les résultats de la méthode simplifiée pour le calcul de la relation $latm = f(Q_{pf})$, accessible depuis le menu Configurer Alizé/Préférences Gel-Dégel

10. Alizé-gel : Lancement des calculs et sortie des résultats

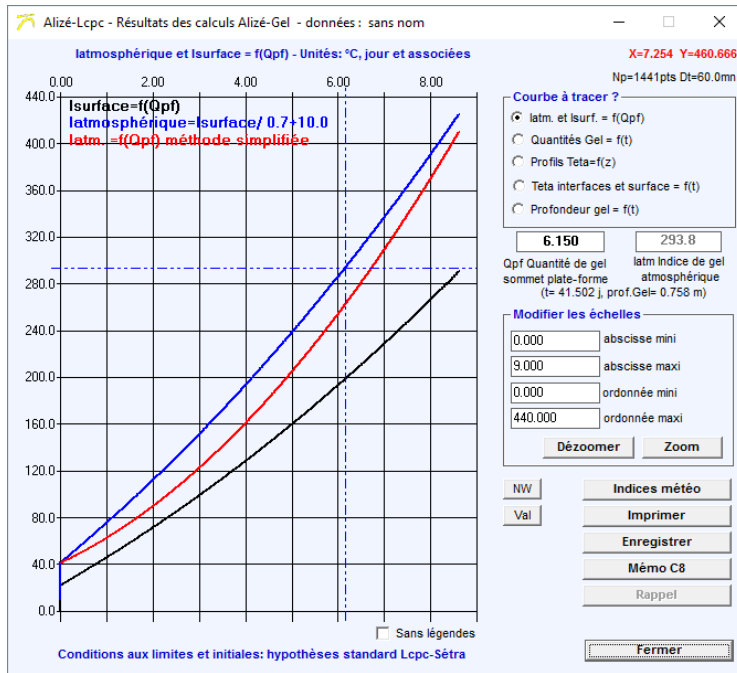


Figure 10.2: Résultats des calculs Alizé-Gel – Courbe de variation des indices de gel à la surface en fonction de la quantité de gel transmise au sommet de la plate-forme (exemple)

Graphique 2

Il représente les courbes d'évolution des quantités de gel calculées aux niveaux des interfaces entre couches et à la surface de la chaussée en fonction du temps (cf. exemple de la figure 10.3).

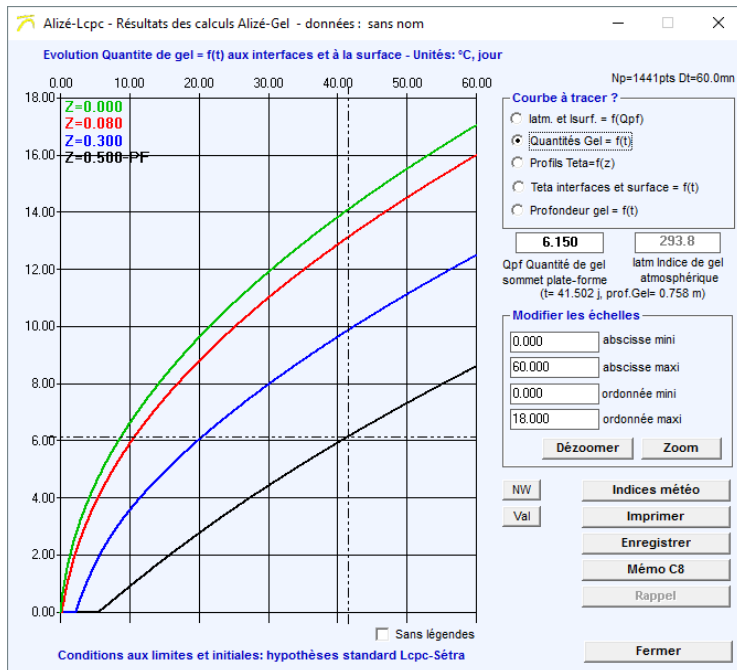


Figure 10.3: Résultats des calculs Alizé-Gel – Courbe d'évolution des quantités de gel aux interfaces et à la surface de la chaussée en fonction du temps (exemple)

Graphique 3

Il représente les profils verticaux de températures calculés à six instants répartis sur toute la durée d'observation (cf. exemple de la figure 10.4).

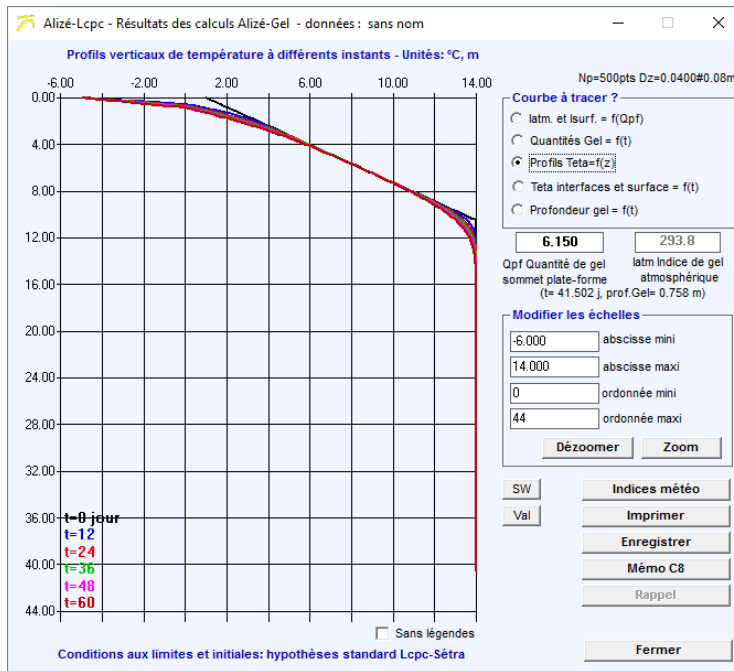


Figure 10.4: Résultats des calculs Alizé-Gel – Profils verticaux de températures à 6 instants (exemple) à la surface de la chaussée en fonction du temps (exemple)

Graphique 4

Il représente courbe d'évolution de la température aux interfaces et à la surface de la chaussée en fonction du temps (cf. exemple de la figure 10.5).

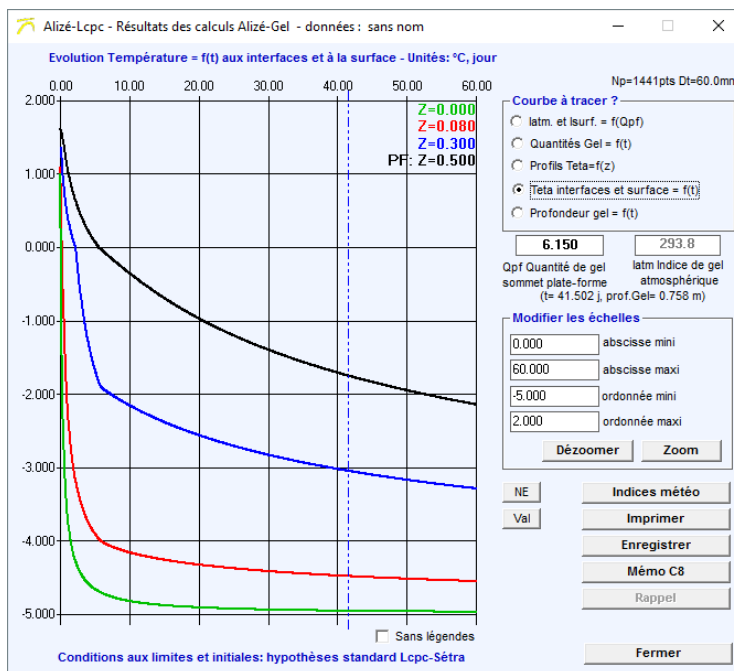


Figure 10.5: Résultats des calculs Alizé-Gel – Courbes d'évolution de la température aux interfaces et à la surface

Graphique 5

Il représente courbe d'évolution de la profondeur de gel en fonction du temps (cf. exemple de la figure 10.6).

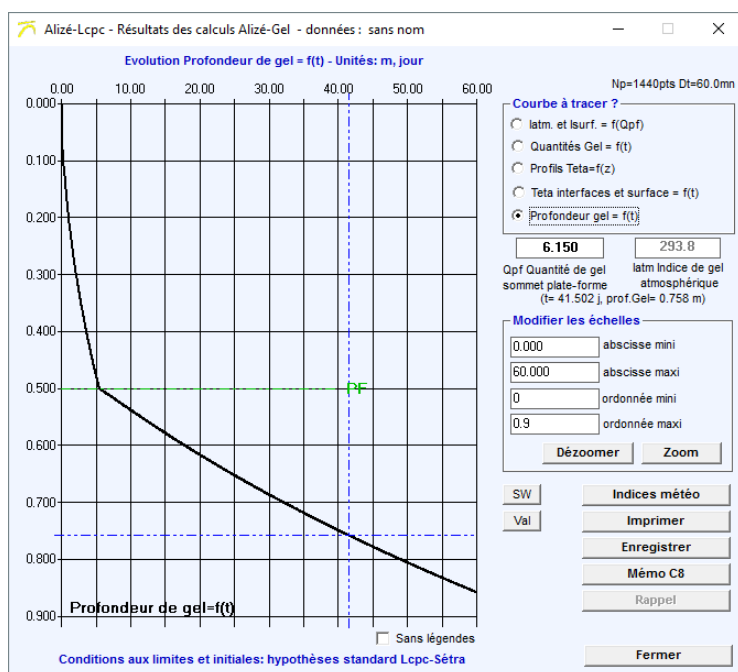


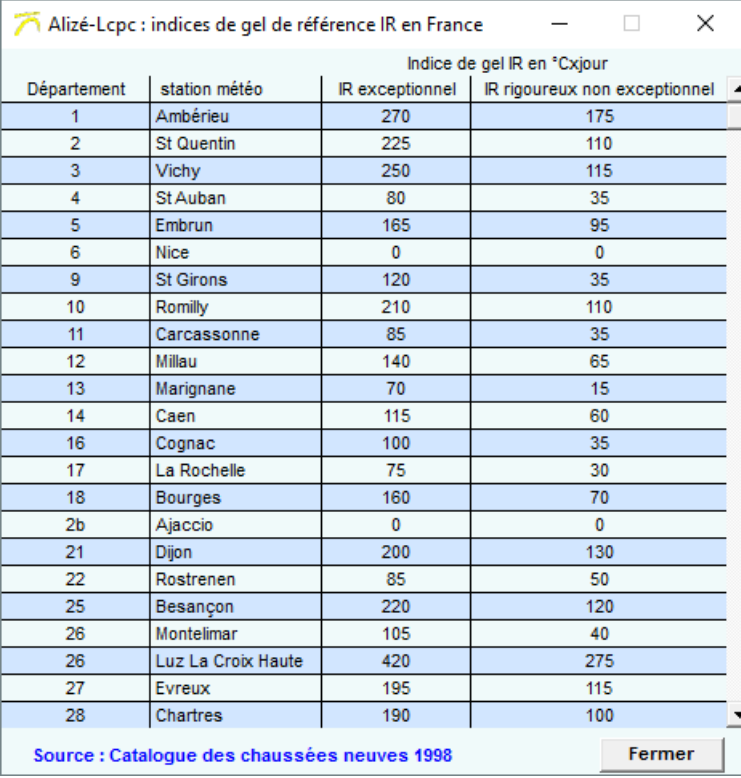
Figure 10.6: Résultats des calculs Alizé-Gel – Courbe d'évolution de la profondeur de gel en fonction du temps (exemple)

La commande **Memo Cn** de la feuille **Alizé-Lcpc Résultats des calculs Gel** permet de stocker dans un buffer temporaire l'ensemble des résultats d'un calcul donné (calcul n° n dans la liste des calculs successifs effectués par le module Alizé-Gel).

Lorsque les résultats d'un calcul ont ainsi été mémorisés dans ce buffer de stockage, il est possible de rappeler ces résultats lors des calculs ultérieurs à l'aide de la commande **Rappel Cn**. Ce rappel déclenche le tracé en trait fin des courbes de résultats d'un calcul précédent stocké en mémoire, simultanément au tracé des résultats du nouveau calcul venant d'être effectué. Cette option facilite les comparaisons entre les résultats de calculs successifs faisant appel à des données différentes.

10. Alizé-gel : Lancement des calculs et sortie des résultats

Il est possible de consulter, à partir de la commande **Aide : IR météo** de la feuille principale du module Gel-Dégel ou depuis la commande **Indices météo** de la feuille **Alizé-Lcpc Résultats des calculs Alizé-Gel**, les indices de gel de référence IR en France (cf. figure 10.7).



Département	station météo	Indice de gel IR en °Cjour	
		IR exceptionnel	IR rigoureux non exceptionnel
1	Ambérieu	270	175
2	St Quentin	225	110
3	Vichy	250	115
4	St Auban	80	35
5	Embrun	165	95
6	Nice	0	0
9	St Girons	120	35
10	Romilly	210	110
11	Carcassonne	85	35
12	Millau	140	65
13	Marignane	70	15
14	Caen	115	60
16	Cognac	100	35
17	La Rochelle	75	30
18	Bourges	160	70
2b	Ajaccio	0	0
21	Dijon	200	130
22	Rostrenen	85	50
25	Besançon	220	120
26	Montelimar	105	40
26	Luz La Croix Haute	420	275
27	Evreux	195	115
28	Chartres	190	100

Figure 10.7: Aide Indice de gel de référence IR en France, selon le Catalogue des structures neuves de 1998

Enfin les commandes **Imprimer** et **Enregistrer** de la feuille **Alizé-Lcpc Résultats des calculs Alizé-Gel** permet l'édition des résultats de calcul, ou leur sauvegarde sur fichier au format Ascii pour reprise ultérieure à l'aide d'un éditeur de texte ou d'un tableur. Différentes options sont proposées pour fixer les tableaux de résultats à imprimer ou à enregistrer, ainsi que leur formatage.

La figure 10.8 présente un exemple d'édition sur imprimante des résultats de calcul Alizé-gel.

Alizé-Lcpc - Dimensionnement des structures de chaussées selon la méthode rationnelle Lcpc-Sétra.
Vérification au gel-dégel

Signalement du calcul :

- titre de l'étude : Déviation SE, Variante GB3/GC3 sans cdf
- fichier structure : C:\...\Az32-bib dat1\dev-SE2.dag
- conditions aux limites : cf. Méthode Lcpc-Setra
- Données : structure de chaussée

Zsup (m)	Zinf (m)	H (m)	Gamma (Kg/m3)	Weau (%)	LbdaNg (W/m°C)	LbdaG (W/m°C)	Matériau type
0.000	0.070	0.070	2350.0	1.0	2.00	2.10	bb
0.070	0.180	0.110	2350.0	1.0	1.90	1.90	gb
0.180	0.360	0.180	2250.0	3.0	1.80	1.90	qc
0.360	0.710	0.350	2200.0	4.0	1.80	2.00	qnt
0.710	1.710	1.000	1300.0	32.0	1.10	1.80	solA
1.710	40.710	39.000	1300.0	32.0	1.10	1.80	solA

niveau de la plate-forme = 0.710 m

Données pour le calcul de la quantité de gel Q_{pf} admissible par la plate-forme Configuration de la plate-forme : SGn/SGp/Gt

matériaux non gélifs : classe B ou C (A_n = 0.13), épaisseur h_n = 0.280 m d'où quantité de gel Q_{ng} = 2.24 racine(°C_xjours)

matériaux peu gélifs : pente p = 0.380 mm/racine(°C_xh), épaisseur h_p = 0.150 m matériaux très gélifs : pente p = 0.950 mm/racine(°C_xh)

d'où quantité de gel Q_g = 2.68 °racine(°C_xjours)

Quantité de gel Q_m reliée à la pénétration autorisée du gel dans les matériaux gélifs chaussée épaisse (matériaux liés > 20 cm), avec e = 0.045 m

d'où quantité de gel Q_m = 0.45 °racine(°C_xjours)

Q_{pf} admissible = Q_{ng} + Q_g + Q_m = 5.37 racine(°C_xjours)

Résultat du calcul : indice de gel atmosphérique admissible par la chaussée latmosphérique admissible = 377.2 °C_xjours

La chaussée est vérifiée vis à vis du gel-dégel si l'indice de gel atmosphérique du site est inférieur ou égal à 377.2 °C_xjours

Courbes latmosphérique et Isurface

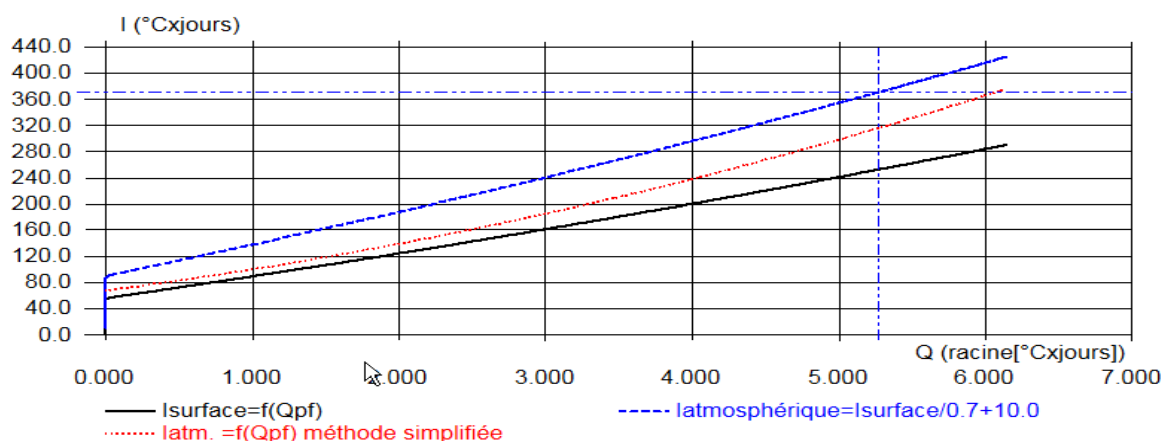


Figure 10.8: Edition sur imprimante des résultats d'un calcul Alizé-gel (exemple)

1 1. Alizé-rétrocalcul : Données, lancement des calculs et sortie des résultats



11.1. Description du problème traité

Le module Alizé-rétrocalcul permet d'évaluer les modules d'élasticité de toutes ou de certaines couches de matériaux constituant une structure de chaussée, à partir du bassin de déflexion créé par une charge connue. Cette charge est composée d'un disque circulaire unique (cf. roue simple, plaque du chargement du FWD – Falling Weight Deflectometer ...) ou d'un jumelage (déflectographe LPC, Curviamètre ...), chargé par une pression statique verticale uniforme.

La structure de chaussée est assimilée à un massif multicouche élastique linéaire, selon les principes et les hypothèses de modélisation utilisés par le module Alizé-mécanique (cf. partie 4 et 5). Les épaisseurs des différentes couches, les coefficients de Poisson et la nature des interfaces entre couches sont fixées. Les inconnues du problème à résoudre sont les valeurs des modules d'élasticité de certaines ou de toutes les couches de matériaux. Ces valeurs sont déterminées par ajustement entre les bassins de déflexion mesurés et calculés. En application courante, les valeurs de modules rétrocalculés contribuent à l'évaluation du degré d'endommagement des matériaux dans les structures en service. Ils permettent également de reproduire la déformabilité de la structure de chaussée en place dans les calculs de renforcement.

Les données nécessaires aux calculs sont les suivantes :

- Données relatives à la structure de chaussée : nombre de couches, épaisseurs et coefficients de Poisson des différentes couches, nature des interfaces. Les valeurs initiales des modules d'élasticité de ces différentes couches sont également requises. Selon le type de calcul spécifié, ces valeurs initiales de modules sont utilisées pour initialiser l'algorithme de calcul inverse (algorithme de Newton-Raphson) ou pour construire la grille de calcul, ainsi que cela est détaillé au §11.2.
- Données relatives au chargement de la chaussée : type de charge (simple ou jumelée), caractéristiques Rayon – Poids et/ou Pression du chargement et entre-axe du jumelage le cas échéant ;
- Bassin de déflexion défini par les valeurs de déflexion mesurées en différents points situés à différentes distances du chargement.

Trois types de traitement sont proposés :

- Calcul inverse conduisant à la détermination du jeu de modules recherché, sur la base de l'optimisation de l'ajustement entre les bassins de déflexions mesurés et calculés. Le problème inverse est ramené à la résolution d'un système d'équations surdimensionné, qui est traité par un algorithme d'optimisation automatique de type Newton-Raphson modifié.
- Calcul selon une grille de valeurs de modules prédéfinie par l'utilisateur. Pour chaque couche est fixée la série des différentes valeurs de modules à considérer (suite arithmétique), à partir de la donnée de la valeur minimale de module, du pas d'accroissement et du nombre de valeurs de modules. Les calculs directs des bassins de déflexions sont effectués en chaîne par le programme, les résultats étant finalement classés par ordre décroissant d'ajustement entre les valeurs de déflexion mesurées et calculées.
- Calcul des modules de surface. Pour un point de déflexion donné, le module de surface est défini comme le module du massif homogène élastique-linéaire semi-infini (massif de Boussinesq), conduisant à la valeur de déflexion mesurée. La courbe de modules de surface peut aider à identifier la nature linéaire – ou non – du comportement de la structure, voire la profondeur virtuelle du substratum pour les modélisations.

L'accès au module Alizé-rétrocalcul s'effectue par le choix de l'option **Module Rétrocalculs** au lancement du logiciel ou par le basculement sur une fenêtre du module Rétrocalculs après un autre calcul, via le menu **Basculer vers, Rétrocalculs**.

11.2. Préparation des données du module Alizé-rétrocalcul

Les données nécessaires à la réalisation d'un rétrocalcul à l'aide du module Alizé-rétrocalcul sont éditées et éventuellement modifiées à l'aide des onglets **Données structure**, **Chargement** et **Mesures** de l'écran **Alizé-LCPC – module Rétrocalcul, Données pour les calculs**.

Les données pour les rétrocalculs peuvent être enregistrées au format texte dans des fichiers Ascii portant l'extension

wd. Selon l'option choisie lors de leur enregistrement, ces fichiers peuvent comporter simultanément l'ensemble des données relatives aux trois onglets Données structure, Données chargement et Mesures déflexions, ou les données relatives à deux ou un seul de ces trois onglets. La commande **Fichier/Ouvrir** de la barre de menu de la feuille **Alizé-Lcpc – module Rétrocalcul, Données pour les calculs** permet d'éditer à l'écran les données de calculs enregistrées dans un fichier de données.

Structure de chaussée

La structure de chaussée utilisée pour la réalisation des rétrocalculs peut être définie selon 2 modes :

- soit en suivant la procédure courante de création et/ou de modification des données Structures présentées en partie 4 «Données concernant la structure de chaussée» depuis l'écran général **Alizé-Lcpc -Module routier, données pour les calculs**. A l'aide de la commande **Fichier/Nouveau** de ce même écran, il est également possible d'ouvrir une structure préalablement définie et sauvegardée dans un fichier de données Structure (extension .dat). Au lancement du module Alizé-rétrocalcul, il sera possible d'importer la structure du module routier via la commande **Fichier/Nouveau/Importer structure/depuis le module routier**.
- soit depuis la fenêtre **Alizé-Lcpc – module Rétrocalcul, Données pour les calculs**, en utilisant la commande **Fichier/Nouveau/Créer nouvelle structure** de la barre de menu (cf. figure 11.1). Depuis cette même fenêtre, il est également possible d'ouvrir une structure préalablement définie et sauvegardée dans un fichier Données rétrocalcul (extension.mwd), à l'aide de la commande **Fichier/Ouvrir**.

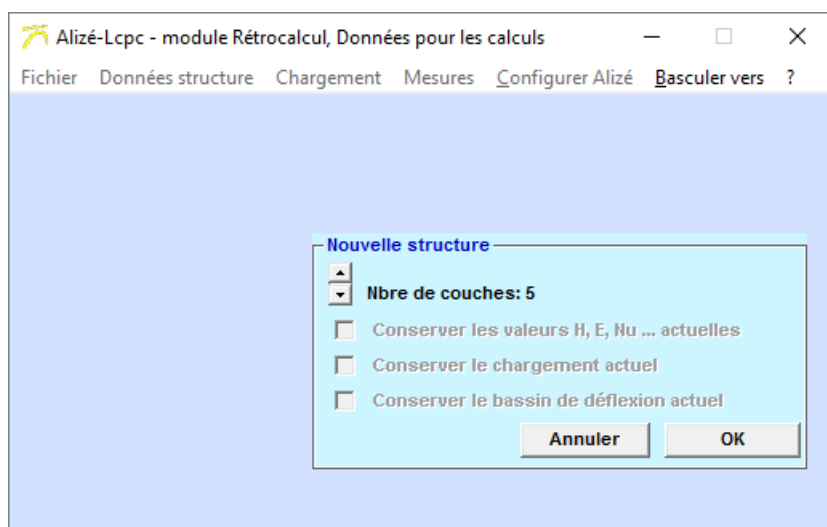


Figure 11.1: Création d'une structure pour les rétrocalculs depuis la feuille Alizé-Lcpc – module Rétrocalcul, Données pour les calculs

1.1. Alizé-rétrocalcul : Données, lancement des calculs et sortie des résultats

Les paramètres nombre de couches de matériaux, épaisseurs et coefficient de Poisson des différentes couches, nature des interfaces, sont des données fixées par l'utilisateur. Les modules d'élasticité sont fixés pour certains, et pour d'autres ces valeurs constituent les inconnues du problème inverse à résoudre.

Données de base			
	épais (m)	Young (MPa)	Nu
collé	0.06	2000	0.350
collé	0.14	3000	0.350
collé	0.25	200	0.350
collé	4.00	20	0.350
collé	infini	55000	0.25

Figure 11.2: Données structure pour les rétrocalculs – option Modules de surface

Données de base					
	épais (m)	Young (MPa)	Nu		
collé	0.06	2000	0.350	1	libre
collé	0.14	3000	0.350	2	libre
collé	0.10	160	0.350	3	dépendant
collé	0.10	80	0.350	4	dépendant
collé	0.10	40	0.350	5	dépendant
collé	4.00	20	0.350	6	
collé	infini	55000	0.25		

Figure 11.3: Données Structure pour les rétrocalculs – option Algorithme NewtonR

Données de base				Paramètres d'ajustement		
	épais (m)	Young (MPa)	Nu	DeltaE (MPa)	Nbre incréments	
collé	0.06	2000	0.350	250	20	libre
collé	0.14	3000	0.350	250	30	libre
collé	0.10	160	0.350	E3/E4 = 2.000		dépendant
collé	0.10	80	0.350	E4/E5 = 2.000		dépendant
collé	0.10	40	0.350	E5/E6 = 2.000		dépendant
collé	4.00	20	0.350	10	8	libre
collé	infini	55000	0.25			

Supprimer substratum

Nb calculs= 4 800
Temps calcul (AMD398Mhz)= 1 min 19

Figure 11.4: Données Structure pour les rétrocalculs – option Algorithme Grille

Dans le premier cas (valeurs de modules bloquées), les valeurs connues de module sont introduites en s'aidant éventuellement de la bibliothèque des matériaux (Bibliothèque Alizé de matériaux standard ou utilisateur). Dans le second cas, il reste nécessaire de définir des valeurs initiales de module, utilisées :

- Soit comme valeurs pour la première itération de rétrocalcul, dans le cas de calculs inverses selon l'algorithme d'optimisation automatique Newton-Raphson. Ces valeurs initiales de modules peuvent exercer une influence non négligeable sur les résultats des rétrocalculs. De plus, il n'y a pas, a priori, unicité de la solution d'un système d'équations surdimensionné de ce type. En conséquence, il est recommandé d'introduire des valeurs initiales de modules aussi proches que possible, par valeurs inférieures, des résultats des calculs, en procédant éventuellement par approche itérative «manuelle».
- Soit comme valeurs minimales de la grille de modules pour chaque couche concernée, dans le cas de rétrocalculs de type grille.

Le même écran **Fichier/Nouveau/Créer nouvelle structure** gère les données Structure pour les options Module de surface, Algorithme Newton-Raphson et Algorithme Grille. Le passage d'une option de calcul à une autre s'effectue par clic-souris sur le bouton d'option correspondant au traitement sélectionné : **E-surface** ou **Rétrocalculs**.

Le choix du type de Rétrocalcul : **Newton-Raphson** ou **Calcul grille**, se fait au niveau du menu **Configurer Alizé/Préférences Rétrocalculs**. (Cf. figure 11.5)

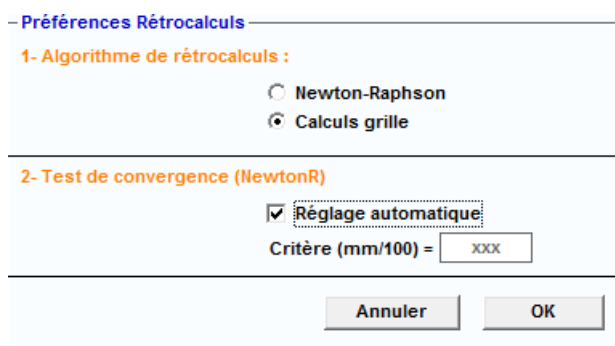


Figure 11.5: Choix du type de Rétrocalcul dans Configurer Alizé/Préférences Rétrocalculs

La figure 11.2 présente un exemple de données Structures pour un calcul de type Modules de surface. La figure 11.3 présente un exemple de données Structures pour un calcul de type Algorithme Newton. La figure 11.4 présente un exemple de données Structures pour un calcul de type Algorithme Grille.

Dans le cas de calculs de type Algorithme Newton ou Algorithme Grille, la case à cochée affectée à chaque couche permet de spécifier si le module de cette couche doit être l'objet ou non du rétrocalcul. Dans la négative (case non cochée), le module conservera la valeur initiale figurant dans le tableau Données de base.

La case à cliquer **libre/dépendant** affectée à chaque couche permet d'imposer une condition de dépendance entre le module rétrocalculé de la couche concernée, et celui de la couche directement inférieure. Si l'option **libre** est choisie aucune dépendance n'est spécifiée. Si l'option **dépendant** est choisie, le rapport entre les modules de ces 2 couches sera maintenu constant. La constante est prise égale au rapport des modules initiaux des 2 couches, définis dans le tableau Données de base.

Données Chargements

Le chargement utilisé pour la réalisation des rétrocalculs est défini à l'aide de l'onglet **Chargement** de l'écran **Alizé-Lcpc – module Rétrocalcul, Données pour les calculs** (figure 11.6). Le chargement est composé soit d'un disque circulaire unique (cf. roue simple, plaque du chargement du FWD – Falling Weight Deflectometer ...), soit d'un jumelage (déflectographe LPC, Curviamètre ...), chargé par une pression statique verticale uniforme.

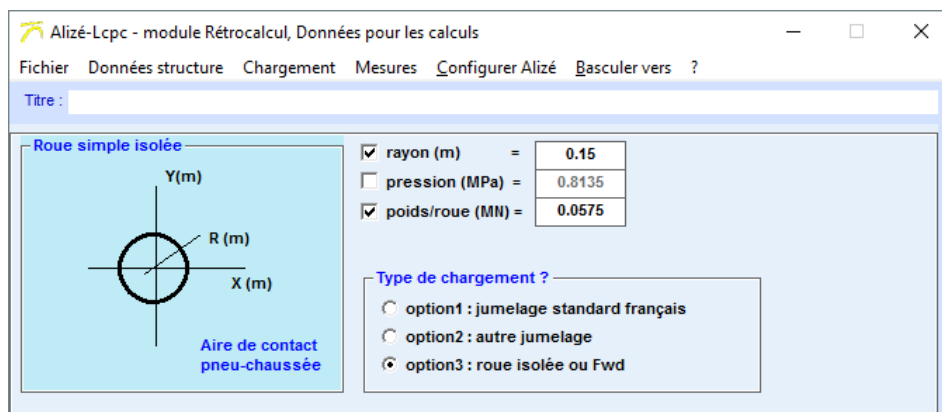


Figure 11.6: Données Chargement pour les rétrocalculs – Exemple FWD

Données Déflexions mesurées

Le bassin des déflexions mesurées utilisé pour la réalisation des rétrocalculs est défini à l'aide de l'onglet **Mesures** de l'écran **Alizé-Lcpc – module Rétrocalcul, Données pour les calculs** (figure 11.7). Plusieurs modes de saisie de bassins de déflexions mesurées sont possibles :

Ouverture d'un fichier de données Rétrocalculs via la commande **Fichier/Ouvrir**. En fonction du contenu du fichier, il est possible d'importer :

- Les données structures
- Les données de chargement
- Les mesures de déflexion

Saisie manuelle d'un bassin de déflexion unique. Les paramètres à saisir sont :

- le nombre de points de mesures (nombre de géophone dans le cas de mesure FWD ou HWD),
- les coordonnées X,Y des points de mesures et les valeurs de déflexions mesurées exprimées en mm/100,

La commande **Dessiner** actualise le dessin du profil de déflexion, selon l'axe XX ou YY sélectionné. Dans ce premier cas de bassin de déflexion unique, la lecture d'un fichier de données Rétrocalcul à l'aide de la commande Fichier/Ouvrir de la barre de menu de la feuille **Alizé-Lcpc – module Rétrocalcul, Données pour les calculs** permet l'édition directe à l'écran des données Déflexions enregistrées dans ce fichier.

1.1. Alizé-rétrocalcul : Données, lancement des calculs et sortie des résultats

Lecture sur fichier de bassins de déflexion multiples. Cette option facilite l'exploitation séquentielle de bassins de déflexion multiples résultant de mesures effectuées sur un itinéraire. L'ouverture d'un fichier de mesures multiples s'effectue par la commande **Multi-mesures** de l'onglet **Mesures** de la feuille **Alizé-Lcpc - module Rétrocalcul, Données pour les calculs** (figure 11.7). La structure du fichier de données au format texte est détaillée sur la figure 11.8.

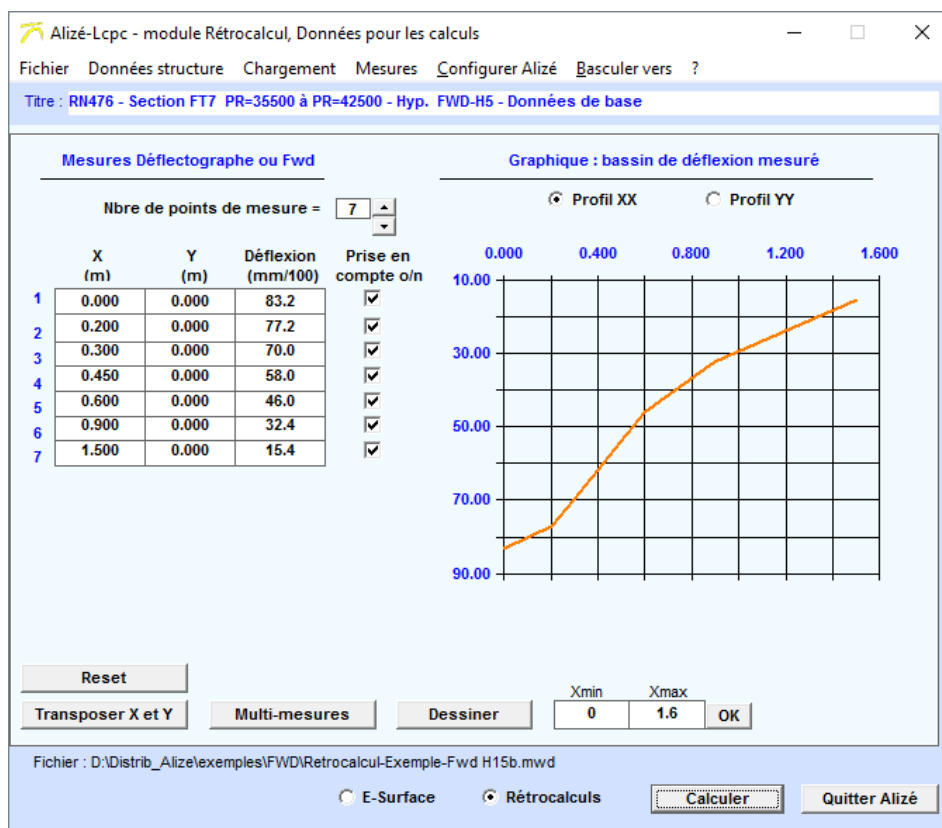


Figure 11.7: Données Déflexions mesurées pour les rétrocalculs

Le 09/06/2005

Mesures FWD - Société xxxxxx

RN xxx - Section SH6a, Trajectoire NE5-Rive

PR=35500 à PR=47450

Les mots-clef possibles sont les suivants: "Unite=" "Poids=" "Epaisseur=" "Module,="

Poids en MN, Epaisseur en m, Module en Mpa

Ces différents mots-clef doivent être placés en début de ligne (J=no de la couche concernée)

Epaisseur1=	0.06	0.077	0.078	0.063	0.045	0.041	0.054	0.073	0.072	0.068	0.049	0.04	0.049	0.068	...
Epaisseur3=	0.154	0.156	0.162	0.167	0.172	0.175	0.178	0.18	0.18	0.185	0.177	0.174	0.17	0.165	...
Poids=	0.07111	0.076	0.0769	0.0778	0.0786	0.0792	0.0797	0.0799	0.0821	0.0799	0.0795	0.079	0.0784	0.0776	...
Unite=	micron														
Module2=	6200	6500	6500	6200	4500	4200	4500	4500	4500	4500	4500	6200	6200	6200	...
Module4=	50	55	55	30	28	28	30	30	30	30	30	30	55	55	...

Bassin de déflexions mesurés - 4ème Choc Niveau 3

X	PR=35500	PR=35550	PR=35600	PR=35650	PR=35700	PR=35750	PR=35800	PR=35850	PR=35900	PR=35950	PR=36000	PR=36050	PR=36100	PR=36150	...
0	826	831	836	840	842	846	847	845	851	850	857	857	855	863	...
0.2	753	756	760	762	764	766	768	769	770	773	773	774	776	777	...
0.3	711	714	717	719	720	723	723	725	726	728	729	729	731	732	...
0.45	645	648	650	652	652	655	655	657	657	659	660	660	661	663	...
0.6	580	582	583	586	585	587	587	589	589	590	592	592	592	594	...
0.9	458	459	460	461	461	462	462	462	463	463	464	464	464	466	...
1.5	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265	266	265	266	...

Fin Fichier

Figure 11.8: Fichier de données Multi-mesures s mesurées pour les rétrocalculs

Le fichier Multi-mesures peut comporter jusqu'à 512 colonnes correspondant au maximum à 511 bassins de déflexion mesurés. Il comporte les données suivantes :

- Titre et identifiant de la série de mesures concernée (facultatif), sans limitation du nombre de lignes.
- Rappel-aide-mémoire concernant les mots clé et commentaires éventuels (facultatif), sans limitation du nombre de lignes.
- Mot clé EpaisseurJ= (facultatif) : Il permet de prendre en compte des épaisseurs de la couche n°J variable le long de l'itinéraire de mesures, différentes pour toutes ou certaines de l'épaisseur figurant dans le tableau Données de base de l'onglet Onglet **Données structure**. Unité : m.
- Mot clé ModuleJ= (facultatif) : Il permet de prendre en compte des valeurs de modules bloquées (non concernées par l'ajustement de rétrocalcul) de la couche n°J variable le long de l'itinéraire de mesures, différentes pour toutes ou certaines de la valeur de module initiale figurant dans le tableau Données de base de l'onglet Onglet **Données structure**. Unité : MPa.
- Mot clé Poids= (facultatif) : Il permet de prendre en compte des valeurs de poids appliqué par la charge, variable selon le long de l'itinéraire de mesures, différentes pour toutes ou certaines de la valeur de charge définie par l'écran Chargement. Unité : MN.
- Mot clé Unité= (facultatif) : Il concerne l'unité utilisée pour les valeurs de déflexion mesurée. Par défaut, ces valeurs s'expriment en mm/100. La chaîne Unité= micron spécifie l'utilisation de l'unité micromètre (μm).
- Positionnement des points de mesures des déflexions (1ère colonne notée X). Unité : m.
- Bassins de déflexion rangés en colonnes verticales, jusqu'à 511 bassins exprimés en mm/100 ou en μm (voir mot clé Unité).
- Mot clé Fin fichier indiquant la fin de l'enregistrement.

Il est possible de visionner la totalité des bassins de déflexion contenus dans un fichier Multi-mesures en actionnant le curseur vertical prévu à cet effet. La case à cocher Echelle permet de plus de maintenir inchangée l'échelle des ordonnées afin de visualiser rapidement la variabilité des bassins de déflexion mesurés le long de l'itinéraire exploité.

Nota : en désignant comme fichier Multi-mesures un fichier de mesures Dynatest ou Carl Bro configuré au format texte (mesures FWD ou HWD), les bassins de déflexion contenus dans ce fichier sont directement transcrits dans un fichier Multi-mesures standard tel que décrit dans ce qui précède (cf. figure 11.8). Il est alors demandé de définir les niveaux de chocs et les parties d'itinéraire à consigner dans ce nouveau fichier Multi-mesures standard, cf. figure 11.9.

Fichier Fwd-Hwd : mesures à extraire

Le fichier Drops.txt est apparemment un fichier de type Fwd-Dynatest. Préciser les nos de chute ("drops") à extraire de ce fichier, afin de constituer un fichier au format Multimesures Alizé.
Important: il faut également vérifier, voire modifier, les positions Dj des géophones indiquées ci-dessous.

Sélectionner le(s) niveau(x) de charge à exploiter :

Niveau1 - Fmoyen= 72 daN

Sélectionner le(s) no(s) de chute à exploiter :

Chute 1
 Chute 2
 Chute 3
 Chute 4

Rayon plaque (m) =

X Geophones (m)

D1	<input type="text" value="0.000"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
D2	<input type="text" value="0.200"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
D3	<input type="text" value="0.300"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
D4	<input type="text" value="0.450"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
D5	<input type="text" value="0.600"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
D6	<input type="text" value="0.900"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
D7	<input type="text" value="1.200"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
D8	<input type="text" value="1.500"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Nbre total de bassins = 16
Nbre total de stations = 4

Figure 11.9: Importation des résultats de mesures FWD ou HWD à partir de fichier Dynatest ou Carl Bro – Exemple

Lancement des rétro-calculs

Le lancement des rétrocalculs s’effectue à l’aide du bouton de commande **Calculer** de la barre de menu de la fenêtre **Alizé-Lcpc – module Rétrocalcul, Données pour les calculs**.

11.3. Alizé-rétrocalcul : résultats des calculs

La figure 11.10 présente un exemple d’écran de résultats du module Rétrocalculs pour un calcul de type Modules de surface. La figure 11.11 présente un exemple d’écran de résultats pour un calcul de type Algorithme NewtonR. La figure 11.12 présente un exemple d’écran de résultats de données Structures pour un calcul de type Algorithme Grille.

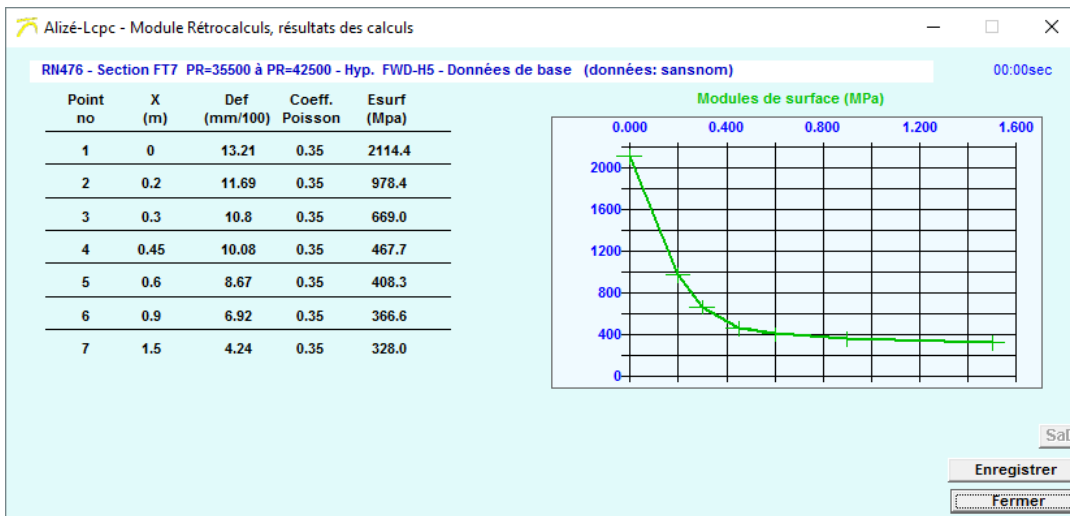


Figure 11.10: Ecran de résultats des rétrocalculs – Option Modules de surface, exemple

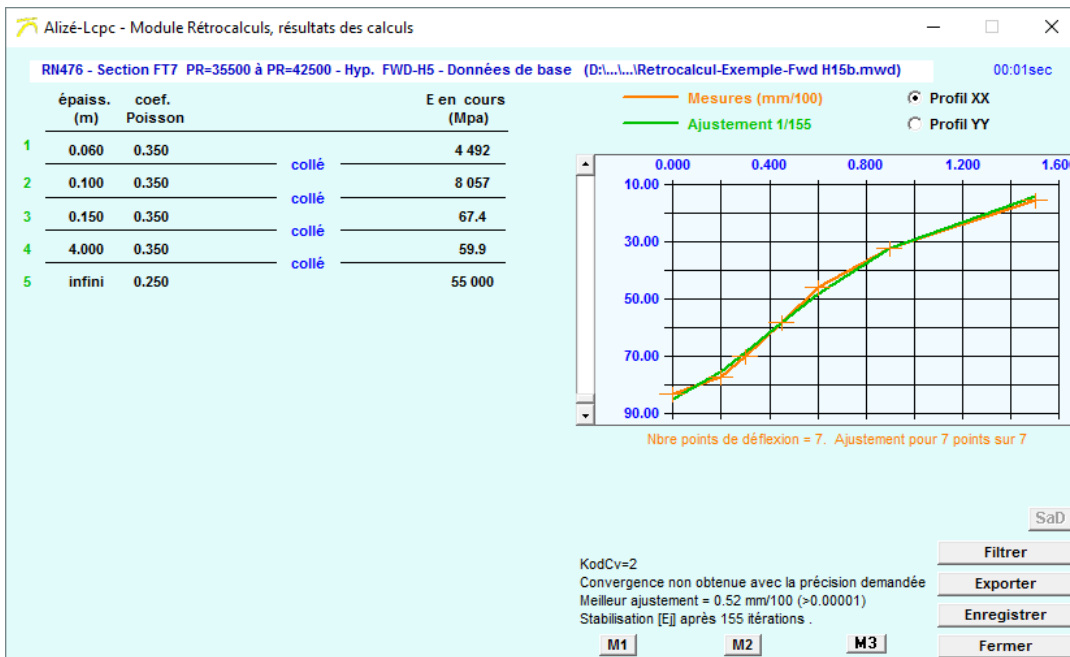


Figure 11.11: Ecran de résultats des rétrocalculs – Option Algorithme Newton-Raphson, exemple

1 1. Alizé-rétrocalcul : Données, lancement des calculs et sortie des résultats

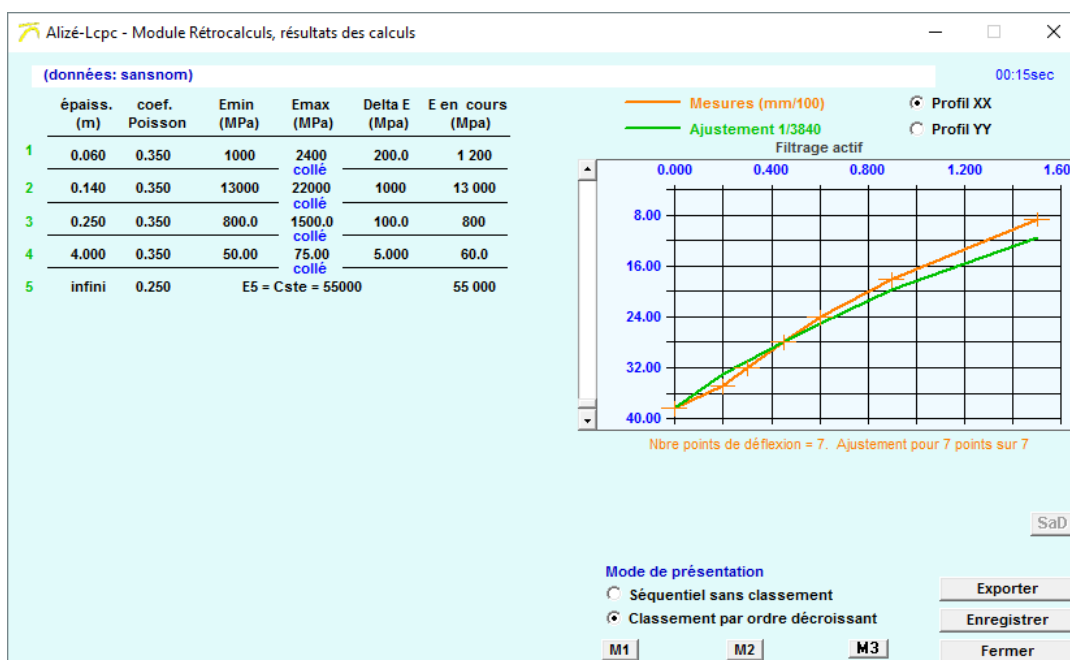


Figure 11.12: Ecran de résultats des rétrocalculs – Option Algorithme Grille, exemple

L'écran de présentation des résultats des Rétrocalcul propose les fonctionnalités suivantes :

- Valeurs des modules rétrocalculés : elles figurent dans le tableau reproduisant la structure de chaussée, colonne Esurf (Modules de surface) ou E en cours (algorithmes NewtonR et Grille). Les valeurs affichées correspondent aux options et aux réglages sélectionnés. Dans les cas des algorithmes NewtonR et Grille, ces valeurs peuvent donc différer de celles de l'ajustement optimum de modules, en fonction du réglage du curseur vertical définissant l'itération de calcul à afficher.
- Option Modules de surface : le graphique représente le profil de module de surface, en fonction de la distance à l'axe central du chargement.
- Option algorithmes NewtonR et Grille: le graphique représente d'une part le bassin de déflexion mesuré, et d'autre par le bassin de déflexion calculé, pour le jeu de module correspondant aux options et aux réglages sélectionnés.
- Enregistrement des résultats des rétrocalculs sur fichier texte au format Ascii : il s'effectue à l'aide de la commande Enregistrer. La commande Exporter déclenche la création d'un fichier de données Structures (extension .dat) bâti sur la base des données structurelles Epaisseurs, Coefficient de Poisson, Nature des interfaces, et du jeu de modules rétrocalculés affichés, fonction des options et réglages sélectionnés.

1 1. Alizé-rétrocalcul : Données, lancement des calculs et sortie des résultats

L'utilisation de la commande Filtrer est illustrée par la figure 11.13. L'option Filtrage permet de rejeter les jeux de modules rétrocalculés, dont au moins une valeur sort de la plage définie par les seuils de valeurs minimale et maximale spécifiées par l'utilisateur.

No	H(m)	Nu	Emin(Mpa)	Emax(MPa)
<input checked="" type="checkbox"/> 1	0.060	0.350	1000	6000
<input type="checkbox"/> 2	0.100	0.350		
<input type="checkbox"/> 3	0.150	0.350		
<input checked="" type="checkbox"/> 4	4.000	0.350	20	60
<input type="checkbox"/> 5	infini	0.250		

Activer le filtrage
 Désactiver le filtrage

Annuler OK

Figure 11.13: Ecran de résultats des rétrocalculs – Définition des paramètres de filtrage (facultatif)

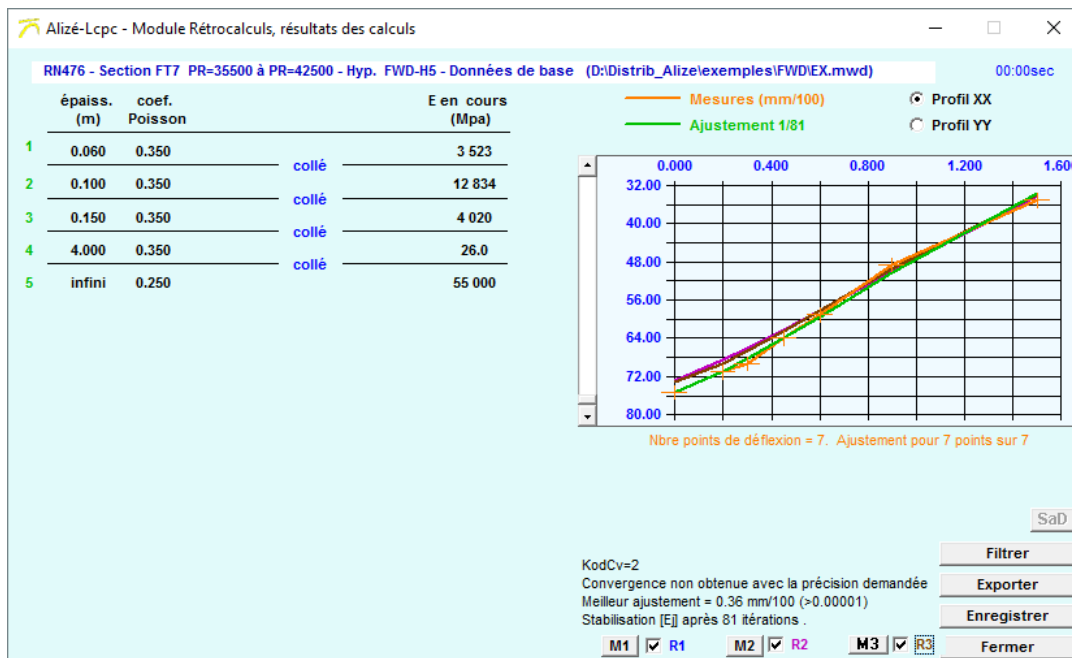


Figure 11.14: Ecran de résultats des rétrocalculs – Commande de mémorisation des bassins calculés permettant leur rappel lors d'exploitations ultérieures

12. Annexe 1 : Principes du dimensionnement mécanique des chaussées



12.1. Cadre général du dimensionnement rationnel des chaussées

La vocation première de la méthode rationnelle est d'encadrer les opérations de dimensionnement des chaussées neuves routières et autoroutières, pour toutes les classes de trafic (des chaussées à faible trafic aux chaussées à fort trafic). Dans ce contexte d'application, la démarche du dimensionnement, l'ensemble de ses hypothèses et les outils à mettre en œuvre sont totalement explicités.

Par ailleurs, la démarche générale du dimensionnement rationnel fait l'objet de diverses transpositions, visant son adaptation à d'autres types de dimensionnement : autres trafics (par exemple porteurs industriels, charges aéronautiques, ...), autres problématiques de dimensionnement (par exemple renforcement de chaussées endommagées, ...). Le logiciel Alizé s'applique également à ces utilisations particulières, sans que ses modalités de mise en œuvre soient, dans ce cas, totalement encadrées par une méthode officielle.

Dans tous les cas, le logiciel facilite la réalisation pratique des calculs numériques nécessaires au dimensionnement des structures de chaussées. Cependant, le dimensionnement des structures de chaussées déborde largement ces aspects numériques. Il reste une affaire de spécialiste de la mécanique des chaussées, auquel le logiciel n'a, en aucune façon, l'ambition de se substituer.

12.2. Démarche générale du dimensionnement rationnel des chaussées

En utilisation courante, la démarche du dimensionnement rationnel s'articule selon les trois phases principales suivantes :

12.2.1. Le choix du type de structure et des matériaux qui la composent

Ce choix est fonction du cadre et des spécificités du projet étudié. La structure de chaussée peut être de type flexible, bitumineuse épaisse, semi-rigide, rigide, mixte ou inverse. A chaque type de structure est associé l'emploi possible de matériaux, répartis eux même en cinq familles : les matériaux hydrocarbonés, les matériaux traités aux liants hydrauliques, les bétons, les matériaux non traités et les sols.

12.2.2. La détermination des sollicitations admissibles dans les différents matériaux

Le calcul des sollicitations admissibles dans les différents matériaux constituant la structure de chaussée découle des deux modèles d'endommagement sur lesquels est fondée la méthode rationnelle :

12.2.2.1- pour les matériaux traités (hydrocarbonés, traités aux liants hydrauliques et les bétons) : le modèle adopté est le modèle d'endommagement par fatigue sous les sollicitations répétées de traction par flexion exercées par le trafic (modèle de Wöhler). La figure A1-1 montre une chaussée endommagée par ce type de fissuration. La sollicitation admissible est une fonction décroissante avec le nombre de chargements appliqués par le trafic, elle s'exprime sous la forme générale :

$$Stadm = A \times P^b \times N$$

A et b = paramètres descriptifs du comportement à la fatigue du matériau, résultant d'essais de fatigue sur éprouvettes en laboratoire (b < 0).

P = coefficients additionnels pour la prise en compte de différents facteurs, non reproduits par les résultats bruts des essais de fatigue en laboratoire.

N = nombre de passages des charges roulantes (ie. trafic cumulé) sur toute la durée de service assignée à la chaussée.

12.2.2.2- pour les matériaux non traités (graves non traitées et sols) : le modèle adopté est le modèle d'endommagement par accumulation des déformations plastiques irréversibles (orniérage), résultant des sollicitations de compression verticale exercées par le trafic. L'expression des sollicitations de compression verticale admissibles ne découle pas directement d'essais en laboratoire, mais de considérations d'origine empirique :

$$Szadm = AxNb$$

A et b = paramètres d'origine empirique, indépendants du matériau non traité considéré, mais variant en pratique selon la nature de la chaussée et l'intensité du trafic (chaussée neuve ou renforcement, trafic faible ou fort, ...).

N = nombre de passages des charges roulantes – idem §1.2.2.1.



Figure 12.1 : Chaussée à assise traitée aux liants hydrauliques endommagée par fissuration de fatigue

12.2.2.3- La détermination des épaisseurs des différentes couches de matériaux.

Les sollicitations créées par les charges roulantes dans les différentes couches de matériaux sont calculées à l'aide du modèle multicouches élastique linéaire de Burmister (cf. §12.3). S_{maxj} désigne la sollicitation la plus élevée, au sens des critères d'endommagement définis plus haut, supportée par la couche de matériau n°j.

La détermination de l'épaisseur de chaque couche de matériau repose sur la vérification du critère de non-rupture du matériau considéré pendant la durée de service de la chaussée, à savoir :

$$S_{maxj} \leq S_{admj}$$

S_{maxj} : sollicitation maximale créée par le trafic dans la couche de matériau n°j, au sens du mode d'endommagement attaché au type de matériau considéré (traction horizontale par flexion ou compression verticale, cf. §12.2.2.1) ;

S_{admj} : sollicitation admissible par le matériau (cf. §12.2.2.2).

La détermination finale des épaisseurs H_j des différentes couches de matériaux constituant la structure de chaussée n'a pas, en général, de solution directe (absence de solution explicite $\{H_j = f(N)\}$). Elle s'effectue le plus souvent suivant une démarche itérative inverse, schématisée sur la figure 12.3.

La solution numérique au problème posé n'est pas, par ailleurs, unique. Le choix final fait aussi appel à des considérations technologiques (par exemple, épaisseurs minimales et maximales des couches suivant le matériau, suivant la classe de trafic, etc.), et empiriques (par exemple, épaisseurs des couches de surface).



Figure 12.2 : Carotte sur chaussée endommagée par fissuration de fatigue

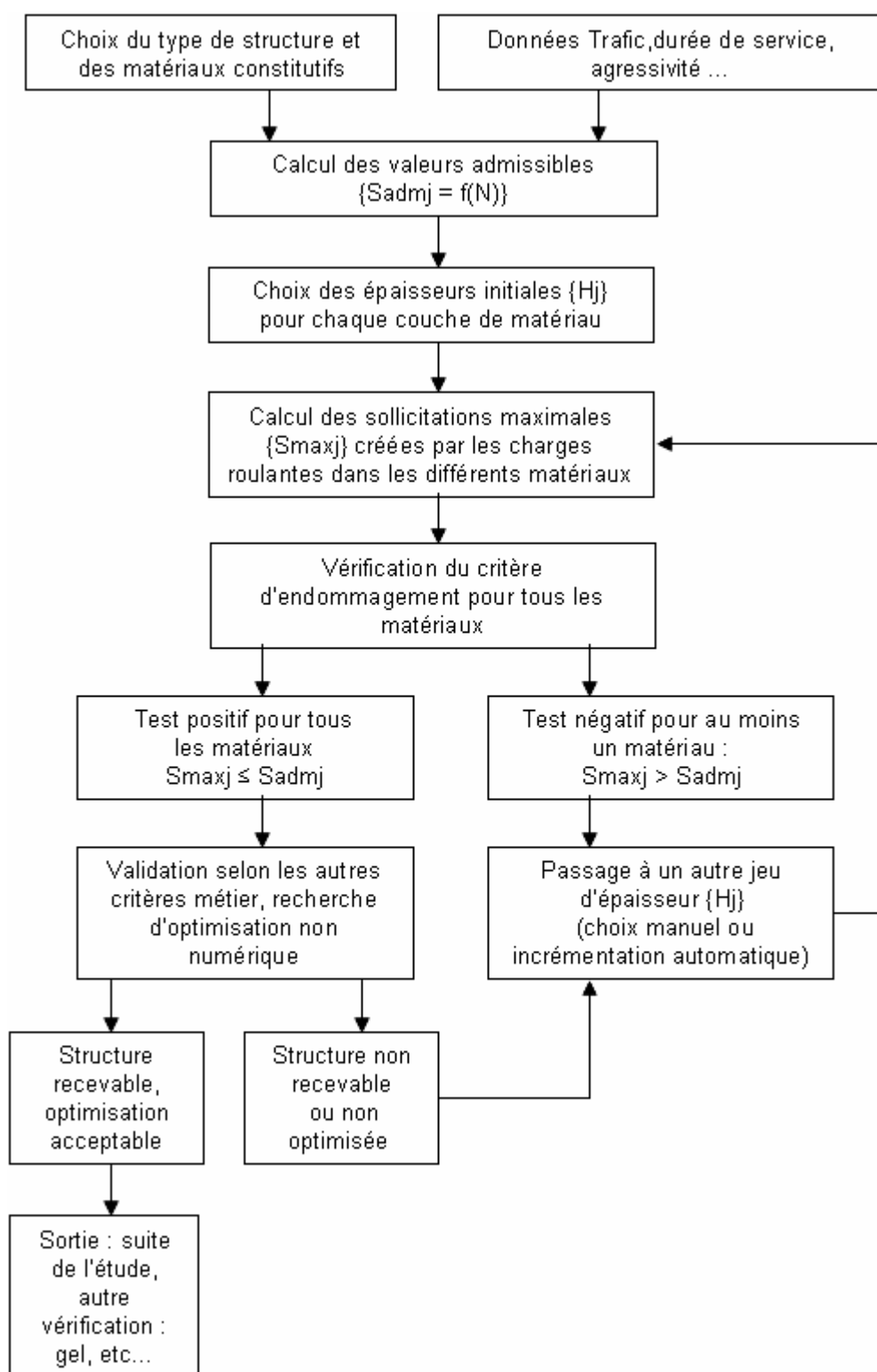


Figure 12.3 : Démarche générale du dimensionnement mécanique

12.3. Le modèle de calcul mécanique

Le moteur de calcul permet la détermination des sollicitations créées par le trafic dans les différentes couches de matériaux constituant le corps de la chaussée. Il met en œuvre le modèle de Burmister.

Ce modèle s'appuie sur la modélisation mécanique de la structure par un massif semi-infini, constitué d'une superposition de couches de matériau d'épaisseur constante, à comportement élastique linéaire isotrope (figure 12.4). Les paramètres descriptifs du comportement mécanique de chaque matériau sont donc au nombre de deux : le module de déformation E et coefficient de Poisson ν .

Chaque interface entre couches adjacentes peut être prise collée, glissante ou semi-collée.

Le chargement appliqué par les charges roulantes à la surface de la chaussée est représenté par un ensemble de disques circulaires, chargé chacun par une pression verticale uniforme et statique.

Toutes les combinaisons de charges élémentaires circulaires de ce type sont possibles. Ceci permet de reproduire les silhouettes d'essieu, de bogie, de véhicule ou d'ensemble de véhicules les plus diverses.

Dans les opérations de dimensionnement courant, un chargement unique, désigné chargement de référence, est en général appliqué à la surface du modèle. Ce chargement de référence est propre au cadre dans lequel la méthode de dimensionnement rationnel est appliquée.

Par exemple, le jumelage de 65 kN (3,25 kN par roue, pression de contact 6,62 MPa) constitue sauf cas particulier, la charge de référence pour le dimensionnement des structures de chaussée des réseaux routiers et autoroutiers français. Dans certaines applications de dimensionnement de chaussées aéronautiques, la charge de référence sera la roue isolée de charge 30 kN.

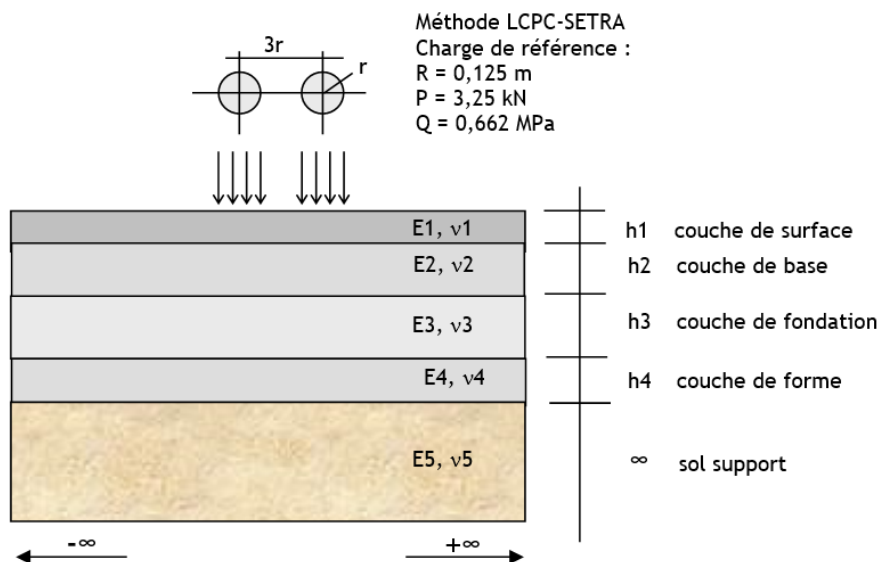


Figure 12.4 : Moteur de calcul Alizé – problème traité, exemple

Le modèle de calcul donne accès, potentiellement, aux tenseurs complets de contraintes et de déformations, ainsi qu'aux trois composantes de déplacement, en tout point de la structure. En utilisation courante, les résultats du modèle strictement nécessaires au dimensionnement se réduisent à la sollicitation maximale S_{maxj} supportée par chaque couche de matériau d'indice j ($j = 1$ pour la couche de surface à $j = n_c$ pour le sol support). Suivant la nature du matériau concerné, S_{maxj} représente la grandeur suivante :

Nature de matériau n°j	Définition de S_{maxj}
Matériau hydrocarboné	Valeur de la déformation d'extension horizontale maximale v_{tmaxj}
Matériau traité au liant hydraulique et béton	Valeur de la contrainte de traction horizontale maximale v_{tmaxj}
Matériau non-traité et sol	Valeur de la déformation de compression verticale maximale v_{tmaxj}

13. Annexe 2 : Principes de la vérification au gel-dégel des chaussées



13.1. Généralités

Sur une large partie du territoire français, la vérification au gel-dégel est déterminante pour le dimensionnement des chaussées à faible et moyen trafic, si l'on entend assurer la continuité de service à l'usager en évitant la pose de barrières de dégel. Jusqu'à la fin des années 1970, cette vérification s'est effectuée en s'imposant comme condition de dimensionnement la relation empirique $H_{ng} > k \times H$, où H_{ng} désignait l'épaisseur totale des couches non gélives de la chaussée et H la profondeur de gel maximale dont on désirait se prémunir (avec k voisin de 80%). Au milieu des années 70, le Lcpc et le Sétra ont entrepris le développement d'une nouvelle méthode de vérification au gel-dégel des structures de chaussées, relevant d'une démarche rationnelle en continuité avec la démarche du dimensionnement mécanique. Elle se distingue de la méthode empirique précédente sur les points suivants :

- une meilleure traduction de la sensibilité au gel des sols, à partir de l'essai de gonflement au gel en laboratoire ;
- une meilleure caractérisation de la rigueur de l'hiver dont on désire se prémunir (hiver de référence) par l'utilisation de l'indice de gel en remplacement de la profondeur de gel ;
- une meilleure prise en compte des parts respectives de la protection thermique du sol et de la résistance mécanique de la chaussée ;
- une démarche de vérification transposable à d'autres contextes que celui du réseau routier national, ce que ne permettait guère le caractère empirique de l'ancienne méthode.

Le module Alizé-gel met en œuvre cette méthode rationnelle de vérification au gel-dégel des chaussées.

13.2. Comportement des sols au gel et au dégel

Lorsqu'ils sont portés à des températures négatives, les sols peuvent être classés en deux grandes catégories :

- **Les sols non gélifs** qui se congèlent en masse. Leur structure est inchangée et leur teneur en eau ne varie guère. Seul un léger gonflement dû à l'augmentation de volume de l'eau faisant glace peut être noté, l'ampleur de ce gonflement dépendant du degré de saturation du sol.
- **Les sols gélifs** qui se congèlent en présentant une modification de leur structure par formation de lentilles de glace. Ceci se traduit par une augmentation de leur teneur en eau par succion, et un gonflement important non expliqué par la seule augmentation de volume liée à la transformation de l'eau en glace. L'importance du développement des lentilles de glace dépend bien sûr des conditions d'alimentation en eau du front de gel, de la teneur en eau initiale au début de la congélation, de la position de la nappe phréatique, des pénétrations possibles d'eau à travers la chaussée et les accotements, et donc des conditions de drainage de la structure.

Lorsque survient la phase de dégel, les sols non gélifs retrouvent directement, sauf exception assez rare, leur teneur en eau de départ, et par conséquent leurs propriétés mécaniques initiales. Par contre, les sols gélifs se trouvent alors à une teneur en eau beaucoup plus élevée qu'à l'état initial (avant l'arrivée de la période de gel), en raison de la fonte des lentilles de glace. La teneur en eau en phase de dégel peut même parfois dépasser la limite de liquidité du sol. Ainsi, un sol gélif support de chaussée peut perdre partiellement ou totalement ses capacités de portance en phase de dégel.

La figure 13.1 illustre les désordres présentés par une chaussée à l'issue d'une phase intense de gel, puis de dégel qu'elle n'a pas supportée.



Figure 13.1 : Dégradation d'une chaussée sous l'effet du gel-dégel

13.3. Place de la vérification au gel/dégel dans l'étude de dimensionnement

La vérification au gel/dégel s'effectue en fin de démarche de dimensionnement : la structure de chaussée a été déterminée et les épaisseurs des couches ont été fixées pour répondre en conditions normales, aux exigences du trafic. La vérification au gel-dégel consiste alors à s'assurer que : en phase de dégel correspondant à un hiver de référence choisi, les matériaux de chaussée peuvent supporter l'augmentation momentanée des sollicitations qu'elles supportent de la part du trafic. Si la vérification est négative, il faut :

- Soit à adopter une autre structure (traitement du support, épaisseur plus importante du corps de chaussée ou de la couche de forme, changement de matériaux),
- Soit à envisager des interruptions de service avec la pose de barrières de dégel.



Figure 13.2 Gonflement d'un échantillon de craie sous l'effet du gel

13.4. Quelques définitions et notations

Indice de gel :

L'indice de gel atmosphérique est la somme cumulée des températures moyennes journalières de l'air sous abri calculée à partir du premier jour pour lequel la température moyenne devient négative, exprimée en valeur absolue, unité °C.jour. On définit :

- I_{atm} l'indice de gel atmosphérique ;
- I_s l'indice de gel en surface de la chaussée ;
- I_t l'indice de gel transmis à la base du corps de chaussée.

Quantité de gel :

Elle correspond à la racine carrée de l'indice de gel (unité [°C.j]^{1/2}). On l'utilise pour quantifier le gel à différents niveaux dans la structure. On définit :

- Q_{atm} la quantité de gel atmosphérique ;
- Q_s la quantité de gel en surface de la chaussée ;
- Q_t (ou Q_{pf}) la quantité de gel transmise à la base du corps de chaussée (ou au sommet de la plate-forme).

13.5. Démarche générale de la vérification au gel-dégel

Seules les chaussées reposant sur des matériaux sensibles au gel doivent faire l'objet d'une vérification au gel/dégel.

La figure 13.3 représente le déroulement général d'une étude de vérification au gel-dégel. Cette vérification consiste à comparer :

- l'indice de gel atmosphérique de référence I_R du projet, caractérisant la rigueur de l'hiver dont on souhaite protéger la chaussée,
- et l'indice de gel atmosphérique admissible I_A que peut supporter la chaussée. I_A est évalué en fonction de la sensibilité au gel du sol support, de la protection thermique et de l'apport mécanique du corps de chaussée.

Si $I_A > I_R$, la chaussée est vérifiée au gel-dégel, elle ne devrait pas subir de dégâts pour les hivers d'indice de gel inférieur ou égal à I_R . Dans le cas contraire, on doit envisager de modifier la structure de chaussée ou de plate-forme, ou accepter la pose de barrières de dégel.

Hiver de référence :

L'hiver de référence et l'indice de gel de référence I_R qui en découle sont des données, fonction de la politique suivie par le gestionnaire du réseau. De ce choix dépend la fréquence de pose de barrières de dégel, donc d'interruption de la circulation sur l'itinéraire. Sur le réseau national, le Catalogue des chaussées neuves Lcpc-Sétra considère deux situations caractéristiques :

- l'hiver exceptionnel, correspondant au plus fort hiver rencontré entre 1951 et 1997,
- l'hiver rigoureux non exceptionnel, qui est l'hiver décennal sur cette même période.

Le Catalogue de 1998 fournit de plus les valeurs des indices de gel hivers exceptionnels et rigoureux non exceptionnels déterminés pour les principales stations météorologiques françaises sur la période 1951–1997.

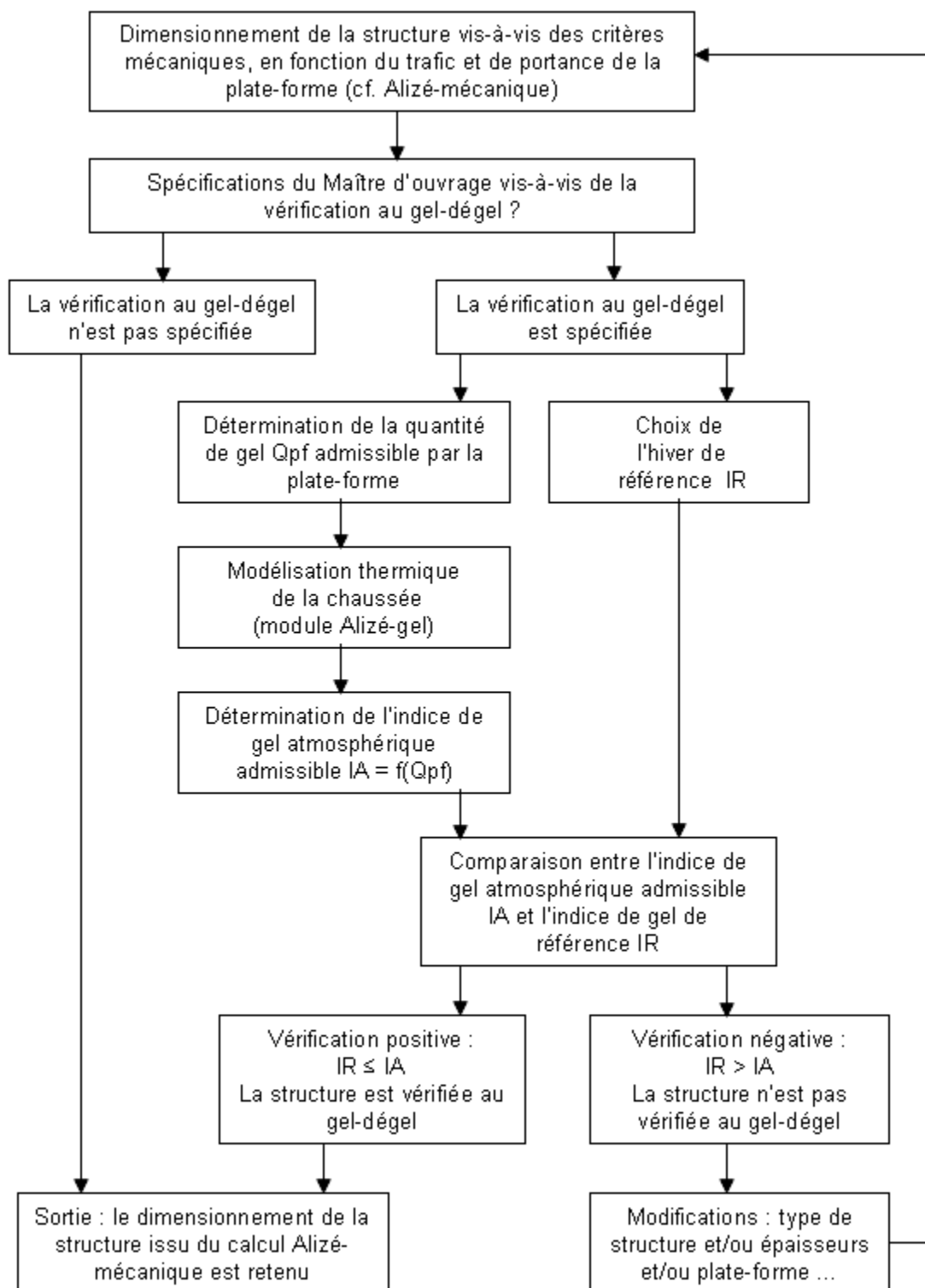


Figure 13.3 : Vérification des chaussées au gel-dégel, déroulement général de l'étude

Caractérisation de la sensibilité au gel des matériaux :

La sensibilité au phénomène de cryosuction des sols et matériaux granulaires est appréciée par l'essai de gonflement au gel (cf. figure 13.4), objet de la norme NF P 98-234-2.



Figure 13.4 : Matériel pour l'essai de gonflement au gel 0/5 mm du Laboratoire Régional de l'Équipement de Nancy

Étapes du calcul de l'indice de gel admissible IA de la chaussée

La détermination de l'indice de gel IA admissible par la chaussée s'effectue en cinq étapes, en remontant du sol support vers la surface de la chaussée, comme illustré par la figure 13.5 :

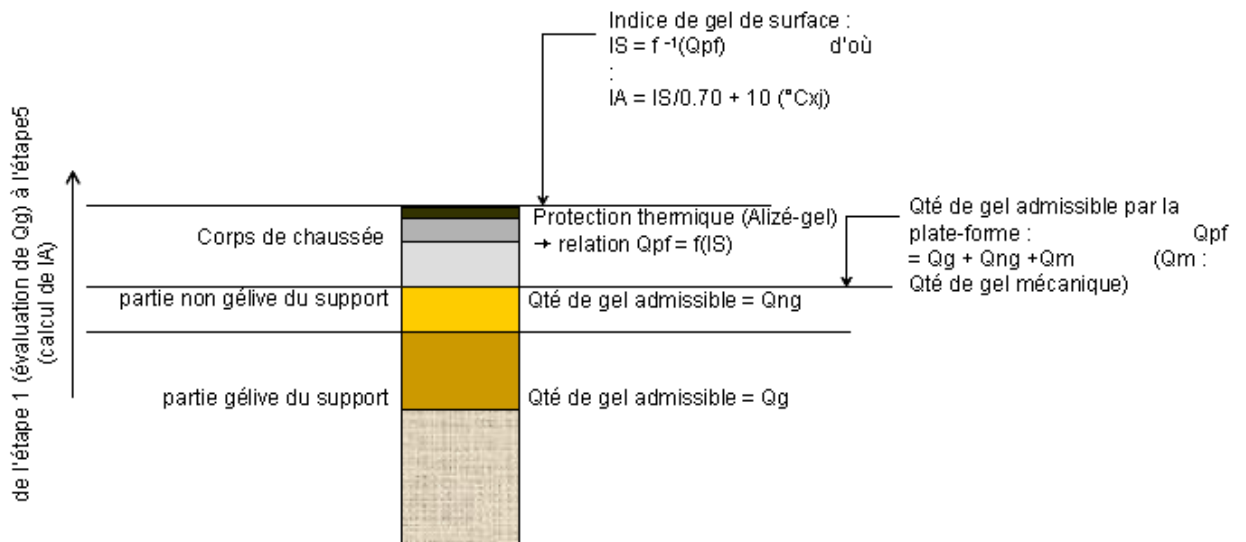


Figure 13.5 : Vérification des chaussées au gel-dégel, démarche générale en 5 étapes

Etape 1 : Examen de la sensibilité au gel de la plate-forme support de chaussée On détermine :

- La quantité de gel Q_g dont on autorise la transmission aux couches inférieures gélives du support. Q_g est évaluée à partir de la pente obtenue à l'essai de gonflement des matériaux très gélifs et peu gélifs constituant la plate-forme, et à partir de l'épaisseur de matériaux peu gélifs.
- La quantité de gel Q_{ng} , exprimant la protection thermique apportée par les matériaux non gélifs de la couche de forme et du sol support. Q_{ng} est évaluée en fonction de la nature de ces matériaux non gélifs et de leur épaisseur.

Etape 2 : Analyse de nature mécanique

On admet une certaine pénétration (e) du gel dans le support gélif, correspondant à la quantité Q_m . La perte de portance du massif support associée à cette pénétration se traduit par une majoration de la sollicitation maximale S_2 créée par le trafic dans la structure de chaussée, par rapport à la sollicitation maximale S_1 à l'état normale hors gel et dégel. La majoration maximale admise est de 5%. Une hypothèse sur la valeur du module d'Young du sol en phase de dégel est nécessaire : elle est prise égale à 1/10ème de celle de ce même sol dans son état normal. Des calculs itératifs à l'aide du module Alizé-mécanique permettent alors de calculer l'épaisseur e maximale de pénétration du gel dans la partie gélive du support, puis la quantité Q_m correspondante par la relation : $Q_m = e/10$ (unités racine(°C.jours) et cm).

Etape 3 : Détermination de la quantité de gel admissible au niveau de la plate-forme

La quantité de gel admissible Q_{pf} au niveau de la plate-forme support de chaussée s'exprime par la somme des termes précédents : $Q_{pf} = Q_g + Q_{ng} + Q_m$

Etape 4 : Etude de la protection thermique apportée par la structure de chaussée

Deux approches sont proposées par le Guide technique de 1994, la plus précise procédant d'un calcul thermique de propagation du gel dans la chaussée, et l'autre procédant de relations simplifiées.

Le calcul de propagation du gel à travers la chaussée permet d'établir la relation $Q_{pf} = f(IS)$. Elle est étudiée à l'aide du module Alizé-gel qui met en œuvre le modèle de Fourier pour résoudre l'équation de la chaleur en régime mixte eau – glace. Toutes les hypothèses des calculs sont définies par le Guide technique. Elles comprennent : la description de la structure de chaussée (géométrie et caractéristiques thermiques des matériaux), et la définition des conditions de température initiales et des températures à la base et à la surface du modèle.

La méthode simplifiée est moins précise que le calcul précédent avec le module Alizé-gel. Elle s'appuie sur une linéarisation de la relation entre Q_{pf} et $Q_S = IS$. Les deux coefficients de cette relation linéaire dépendent de la nature des matériaux constituant les différentes couches de chaussée, et de l'épaisseur de ces couches.

Etape 5 : Détermination de l'indice de gel atmosphérique admissible IA

La relation entre $Q_{pf} = f(IS)$ établie à l'étape précédente conduit à déterminer la valeur admissible $IS = \text{finverse}(Q_{pf})$. L'indice de gel atmosphérique IA correspondant à IS est calculé par à l'aide d'une relation empirique reliant les indices IA et IS . Cette relation reflète les phénomènes de convection et de rayonnement en surface de la chaussée. En altitude moyenne, avec un ensoleillement faible à moyen et un indice de gel atmosphérique ne dépassant pas 210°C.jour, le Guide technique de 1994 préconise la relation suivante : $IA = IS/0.7 + 10$ (unités : °C.jour).

Pour tous les autres cas (gel très rigoureux, ensoleillement important), une étude particulière est nécessaire.

Logiciel

Alizé-Lcpc



Distributeur exclusif :



8 quai de Bir Hakeim 944 10 Saint-Maurice France

Tél : +33 (0)1 49 76 12 59

www.alize-lcpc.com