

Note sur la vérification au Gel par Alizé-LCPC

Introduction

Alizé-LCPC permet de vérifier le dimensionnement d'une structure de chaussée par rapport à la propagation de gel. Alizé-LCPC considère le problème de propagation du gel 1D suivant la direction verticale comme décrit dans la norme NF P98-086 (annexe H). Différentes améliorations ont été apportées au logiciel pour la résolution de ce problème. La version 2 a notamment fait l'objet d'une étude spécifique pour accroître la précision du calcul. Pour cela on a considéré le cas de propagation du gel dans un massif semi infini homogène. Dans ces hypothèses, une solution théorique particulière peut être calculer analytiquement. Cette solution particulière a été prise comme référence pour vérifier la justesse des codes numériques d'Alizé-LCPC. La vérification a notamment portée sur le calcul, à une profondeur donnée, de la température et de l'indice de gel en fonction du temps. Ainsi, quelques modifications à l'algorithme initial d'Alizé-LCPC (version 1.5) ont été apportées pour améliorer la précision des résultats numériques. L'étude a aussi permis d'optimiser les paramètres de discrétisation (finesse du maillage, pas de temps). Dès lors, la version 2 d'Alizé-LCPC permet de bénéficier plus généralement de ces améliorations dans le cadre des véritables calculs de dimensionnement au gel des chaussées, pour lesquels il n'existe pas de solutions analytiques, compte tenu des hypothèses relativement complexes de la norme NF P98-086.

Les résultats de vérification au gel peuvent donc légèrement différer entre l'actuelle version et les versions précédentes. A titre d'exemple, la suite de cette note compare pour 2 cas pratiques de dimensionnement au gel les résultats entre les versions 1.5 et 2. Les différences sont minimes, mais on recommande vivement d'utiliser les versions Alizé 2 (ou ultérieures) pour conduire la vérification au gel.

Comparaison des versions d'Alizé pour 2 structures du catalogue

Description des structures

Les comparaisons numériques suivantes sont basées sur 2 fiches du catalogue de structures RRN 1998. La première correspond à une structure relativement épaisse, la seconde à une structure mince. Les 2 exemples s'appuient sur l'ensemble des hypothèses et données numériques de la norme en vigueur et prennent en compte la distinction des propriétés physiques entre zones gelée et non gelée.

Cas 1 : Structure GB3/GNT/PF3

Cette structure fait l'objet de la fiche n°26 du Catalogue des Structures Neuves (édition 1998). On retient ici le dimensionnement associé à une structure située sur réseau non structurant (VRNS) et de durée de vie prise égale à 20 ans pour un trafic TC5. Son épaisseur est de 41 cm. Son dimensionnement au gel est caractérisé par les données suivantes :

Matériau	Epaisseur (m)	Densité sèche (kg/m ³)	Teneur en eau massique (%)	Conductivité thermique volumique non gelée (W/m/°C)	Conductivité thermique volumique gelée (W/m/°C)	Capacité thermique volumique non gelée (J/K/m ³)	Capacité thermique volumique gelée (J/K/m ³)
BBSG3	0,08	2350	1,0	2,0	2,1	2062830	2013715
GB3	0,13	2350	1,0	1,9	1,9	2062830	2013715
GNT	0,20	2200	4,0	1,8	2,0	2207040	2023120
Niveau plateforme							
Sol A	∞ Valeur bornée à 40m pour les calculs thermiques	1300	32,0	1,1	1,8	2825680	1956240

Tableau 1 : Données du cas n°1

Cas 2 : Structure GB3/PF4

Cet exemple est tiré de la fiche n°2 du Catalogue des Structures Neuves (édition 1998), pour une structure, également située sur réseau non structurant (VRNS) et dimensionnée à 20 ans pour une plateforme PF4 et un trafic TC2. Son épaisseur est de 12 cm. Les données pour le dimensionnement au gel sont les suivantes :

Matériau	Epaisseur (m)	Densité sèche (kg/m ³)	Teneur en eau massique (%)	Conductivité thermique volumique non gelée (W/m/°C)	Conductivité thermique volumique gelée (W/m/°C)	Capacité thermique volumique non gelée (J/K/m ³)	Capacité thermique volumique gelée (J/K/m ³)
BBM	0,04	2350	1,0	2,0	2,1	2062830	2013715
GB3	0,08	2350	1,0	1,9	1,9	2062830	2013715
Niveau plateforme							
Sol A	∞ Valeur bornée à 40m pour les calculs thermiques	1300	32,0	1,1	1,8	2825680	1956240

Tableau 2 : Données du cas n°2

Comparaison des vérifications issues d'Alizé-LCPC version 1.5 et 2.0

Comparaison sur les valeurs de calcul intermédiaires

Pour les 2 cas précédents les calculs de vérification au gel ont été conduits en utilisant Alizé-LCPC version 1.5 d'une part et Alizé-LCPC V2 d'autre part. Les tableaux suivants comparent les résultats des 2 versions du logiciel en termes de position du front de gel, température au niveau de la plateforme et quantité de gel.

Pour la position du front de gel, Alizé 1.5 surestime la profondeur du front de gel de 4 à 5 mm par rapport à Alizé 2. Cet écart reste faible, comparé à la profondeur de ce front allant de 300 à 800 mm.

La température au niveau de la plateforme estimée par les 2 versions est quasi identique à quelques centièmes de degré. L'écart n'est donc pas significatif.

La quantité de gel estimée au sommet de la plateforme est légèrement plus grande avec Alizé 1.5. L'écart reste néanmoins faible et généralement inférieur à 1 %. L'écart le plus important intervient au passage du front de gel au niveau de la plateforme avant le 10^{ème} jour.

Temps (jours)	Position du front de gel (m)		Ecart (mm)
	Alizé 1.5	Alizé 2.0	
0	Sans objet	Sans objet	
10	0,47365	0,46883	4,82
20	0,5657	0,560579	5,121
30	0,64357	0,63828	5,29
40	0,71163	0,706243	5,387
50	0,77257	0,767108	5,462
60	0,82805	0,822534	5,516

Tableau 3 : Comparaison de la position du front de gel calculée pour le cas n°1

Temps (jours)	Position du front de gel (m)		Ecart (mm)
	Alizé 1.5	Alizé 2	
0	Sans objet	Sans objet	
10	0,3235	0,319228	4,272
20	0,44709	0,442687	4,403
30	0,54098	0,536449	4,531
40	0,61909	0,614447	4,643
50	0,68703	0,682295	4,735
60	0,74772	0,742911	4,809

Tableau 4 : Comparaison de la position du front de gel calculée pour le cas n°2

Temps (jours)	Température au niveau de la plateforme (°C)		Ecart (°C/100)
	Alizé 1.5	Alizé 2	
0	1,512	1,51201	0,001
10	-0,694	-0,647673	4,6327
20	-1,435	-1,39833	3,667
30	-1,891	-1,86119	2,981
40	-2,204	-2,17951	2,449
50	-2,436	-2,41484	2,116
60	-2,616	-2,59768	1,832

Tableau 5 : Comparaison de la température au niveau de la plateforme pour le cas n°1

Temps (jours)	Température au niveau de la plateforme (°C)		Ecart (°C/100)
	Alizé 1.5	Alizé 2.0	
0	1,154	1,15415	0,015
10	-3,117	-3,09204	2,496
20	-3,664	-3,65034	1,366
30	-3,907	-3,89811	0,889
40	-4,052	-4,04479	0,721
50	-4,15	-4,14421	0,579
60	-4,222	-4,21717	0,483

Tableau 6 : Comparaison de la température au niveau de la plateforme pour le cas n°2

Temps (jours)	Quantité de gel		Ecart (°C.jour)
	Alizé 1.5	Alizé 2.0	
0	0	0	0
10	1,48	1,37931	-0,10069
20	3,63	3,53171	-0,09829
30	5,474	5,37882	-0,09518
40	7,108	7,01591	-0,09209
50	8,589	8,4999	-0,0891
60	9,953	9,86642	-0,08658

Tableau 7 : Comparaison de la quantité de gel au niveau de la plateforme pour le cas n°1

Temps (jours)	Quantité de gel		v(°C.jour)
	Alizé 1.5	Alizé 2.0	
0	0	0	0
10	4,56	4,50734	-0,05266
20	7,427	7,38244	-0,04456
30	9,651	9,61088	-0,04012
40	11,532	11,4951	-0,0369
50	13,192	13,1571	-0,0349
60	14,694	14,6606	-0,0334

Tableau 8 : Comparaison de la quantité de gel au niveau de la plateforme pour le cas n°2

Comparaison des indices d'admissibilité

Les tableaux suivants comparent les résultats des 2 versions du logiciel en termes de l'indice de gel atmosphérique admissible (Ia).

Pour faire ce calcul, des hypothèses identiques ont été utilisées dans les deux versions pour le calcul des quantités de gel :

Calcul quantité de gel	Paramètre	Résultat/valeur
Calcul Qg et Qng	Caractéristique de la plateforme	Pf3 Type SGp/SGn – couche de forme de 50 cm classée D21
	Hn	0,5 m
	An	12 v(°C.jour)/m
	Pente p	0.3
	Qg	3,33
	Qng	5
Calcul de Qm	Méthode de calcul	Calcul itératif sur Alizé2 - critère EpsiT à la base de la couche gb.
	Qm	0,21
Calcul Qpf	Qg+Qng+Qm	8,54

Tableau 8 : Hypothèses et résultats de calcul des quantités de gel pour le cas n°1

Calcul quantité de gel	Paramètre	Résultat/valeur
Calcul Qg et Qng	Caractéristiques de la plateforme	Pf4 peu gélif
	Hn	-
	An	-
	Pente p	0,4
	Qg	2,5
	Qng	0
Calcul de Qm	Méthode de calcul	Non calculé – chaussée peu épaisse
	Qm	-
Qpf	Qg+Qng+Qm	2,5

Tableau 9 : Hypothèses et résultats de calcul des quantités de gel pour le cas n°2

L'écart entre les deux indices d'admissibilité calculés est faible et peu significatif comme le montre le tableau ci-dessous. On notera que dans les 2 cas, l'indice calculé avec la version 2 est très légèrement supérieur, donc plus tolérant, à celui estimé par la version 1.5.

	Alizé 1.5	Alizé 2	Ecart
la	351,7	356,0	4,3

Tableau 10 : Comparaison de l'indice d'admissibilité pour le cas n°1

	Alizé 1.5	Alizé 2	Ecart
la	37,0	37,8	0,8

Tableau 11 : Comparaison de l'indice d'admissibilité pour le cas n°2

Recommandation pour le calcul de la vérification au gel

Les évolutions successives apportées dans le logiciel Alizé-LCPC permettent un calcul plus précis des différentes grandeurs associées à la vérification au gel. Dans une démarche de vérification au gel, on recommande donc d'utiliser la dernière version du logiciel (actuellement 2.1.2). Si toutefois les calculs sont effectués avec une version antérieure, on examinera avec attention les résultats notamment si ceux-ci sont proches de la limite de gel admissible. Dans ces conditions on ne peut que recommander de refaire le calcul avec la dernière version du logiciel. Les différences de résultats entre les 2 versions sont certes faibles, mais par effet de seuil, l'expérience montre qu'il existe des cas particuliers pour lesquels les conclusions de vérification par les 2 versions s'avèrent de sens contraires. Dans ce cas, c'est le résultat calculé avec la dernière version d'Alizé-LCPC qu'il faut prendre en considération.