

# Effets du gel/dégel sur les bétons

Les cycles de gel et de dégel affectent les structures en béton.  
Les conséquences peuvent être néfastes.  
Comment prévenir leurs effets ?



**Fig. 1** Ecaillage du béton sous l'action combinée des cycles de gel/dégel et des sels de déverglaçage.



**Fig. 2** Corrosion des armatures consécutive à la fragilisation du béton d'enrobage et à l'utilisation des sels de déverglaçage.

Les ouvrages en béton soumis à des ambiances hivernales rigoureuses peuvent montrer des signes d'altération marqués (fissuration de masse, écaillage) en relation avec la répétition de cycles gel/dégel. Bien que les mécanismes fondamentaux de ces dégradations ne soient pas, à l'heure actuelle, complètement cernés, les paramètres influençant ces phénomènes sont bien identifiés. Et il existe une réglementation permettant de formuler des bétons résistants aux cycles répétés de gel/dégel. Dès 1987, un groupe de travail (Groupe Rhône-Alpes) a engagé des études et proposé des solutions faisant l'objet d'un document de recommandations, récemment relayé et étendu à l'échelle nationale par le LCPC (Laboratoire central des Ponts et Chaussées) et le Setra (Service d'études techniques des routes et des autoroutes). Le retour d'expérience montre que les risques d'apparition de désordres restent très limités lorsque cette réglementation est suivie.

## 1 Le gel dans les bétons : comment ça marche ?

Un béton soumis à une température légèrement inférieure à zéro ( $-3\text{ °C}$  à  $-4\text{ °C}$ ) voit une partie de l'eau contenue dans la porosité geler. En effet, la température de passage de l'eau de l'état liquide à l'état solide étant notamment fonction du diamètre des pores, seule l'eau contenue dans les pores les plus gros (porosité capillaire) gèle. L'eau chimiquement liée ou adsorbée sur les parois des pores les plus fins est fortement structurée et ne peut cristalliser sous forme de glace que pour des températures inférieures à  $-78\text{ °C}$ , températures naturellement jamais atteintes pour le sujet qui nous concerne.

Comme la plupart des matériaux poreux, le béton augmente de volume lorsqu'il est soumis au gel. Pour sa part, l'eau subit,

en gelant, une augmentation de son volume massique de l'ordre de 9 %, mais cette augmentation n'est pas à elle seule responsable de l'augmentation de volume du béton. Le passage de l'eau de l'état liquide à l'état solide engendre aussi des pressions hydrauliques sur l'eau des capillaires restée à l'état liquide. De même, dans la mesure où la glace ne peut se former qu'à partir de l'eau pure, sa formation entraîne des différences de concentrations en sels dissous entre l'eau localisée à proximité de la glace formée et celle présente dans les capillaires les plus fins. Ces concentrations vont avoir tendance à s'équilibrer par effet d'osmose, entraînant le développement de pressions dites osmotiques. Les mécanismes liés à la transformation de l'eau en glace et aux pressions hydrauliques qui en découlent correspondent à un gel dit pur ou interne, alors que ceux dus aux pressions osmotiques sont liés à l'utilisation de sels de déverglaçage.

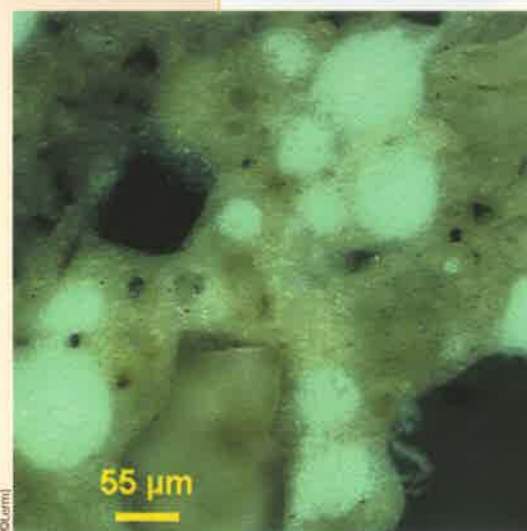
Les désordres liés à la répétition des cycles de gel/dégel sont ainsi susceptibles d'apparaître lorsque les pressions créées deviennent supérieures à la résistance à la traction du béton.

## 2 Quelles sont les conséquences du gel dans les bétons ?

Les désordres pouvant être induits par les cycles répétés de gel/dégel sont :

- une microfissuration et/ou une fissuration de la masse du béton dans le cas du gel interne ;

**Fig. 3** Vue de bulles d'air entraîné (en blanc) au microscope optique.



## Effet du gel/dégel sur les bétons

• un **écaillage de la surface** du béton sous l'action conjuguée des cycles de gel/dégel et de l'utilisation des sels de déverglaçage.

Par ailleurs, l'altération de surface des parements, combinée à la présence de chlorures dans les sels de déverglaçage, est souvent à l'origine de la manifestation de désordres secondaires correspondant à une corrosion des armatures. Cette corrosion peut être induite par la carbonatation du béton au contact du CO<sub>2</sub> atmosphérique, qui peut être plus sévère en raison de la diminution de l'épaisseur d'enrobage sous l'effet de l'écaillage, ou encore être facilitée en raison de la présence des fissures créées par le gel. Elle peut être initiée par les chlorures présents dans les sels de déverglaçage, qui sont en mesure de migrer jusqu'aux armatures.

### 3 Quels sont les facteurs influençant la manifestation des désordres dus au gel ?

Les mécanismes de dégradation par les cycles répétés de gel/dégel mettent en jeu des gonflements, dus à des pressions hydrauliques et/ou osmotiques, consécutifs à la transformation de l'eau en glace. Dans ces conditions, un béton

ne peut être dégradé par le gel que s'il est saturé d'eau ou dans un état proche de la saturation. Il apparaît donc que la résistance au gel d'un béton dépend de ses paramètres de formulation (dosages en ciment et en eau), caractéristiques qui conditionnent sa compacité, ainsi qu'aux conditions de maturation du béton (cure favorisant l'hydratation de la pâte de ciment). Enfin, l'utilisation d'entraîneurs d'air en adjuvantation permet d'améliorer de manière significative la résistance au gel des bétons, en créant un réseau de bulles d'air jouant en quelque sorte le rôle de vase d'expansion au cours des périodes de gel.

### 4 Comment prévenir les effets du gel dans les bétons ?

En France, le LCPC a publié en décembre 2003 un guide élaboré par un groupe de travail regroupant la plupart des acteurs œuvrant dans les domaines du BTP et du génie civil, à partir d'un projet proposé par le Groupe Rhône-Alpes. Ce guide propose une démarche préventive permettant de limiter les risques d'apparition des désordres liés à l'action répétée des cycles de gel/dégel avec ou sans utilisation de sels de déverglaçage. Le principe de la démarche consiste à déterminer le type de béton à mettre en œuvre en fonction de l'intensité du gel



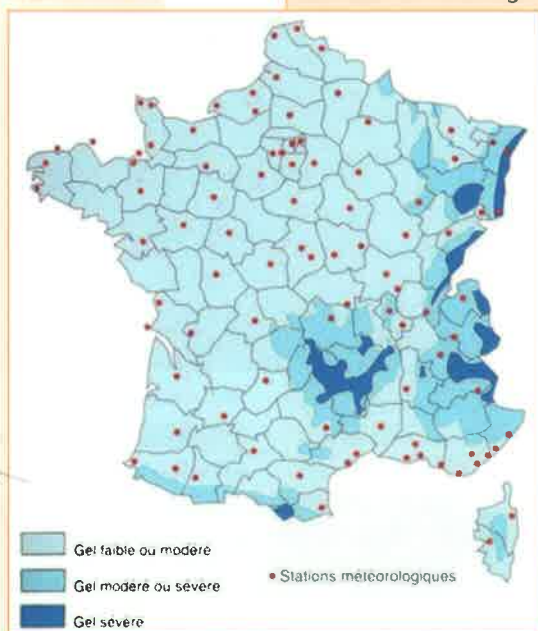
(faible, modéré ou sévère) et de l'intensité du salage (peu fréquent, fréquent ou très fréquent), et à vérifier que la formulation de béton prévue est satisfaisante. L'intensité du gel est déterminée en fonction du nombre de jours de gel et de la température minimale atteinte, exprimés en moyenne annuelle sur les trente dernières années. Le nombre de jours de salage est la valeur moyenne annuelle estimée sur les dix dernières années. En France, en fonction de l'intensité du gel et du salage (voir cartes), quatre types de bétons, se rapportant aux classes d'exposition de la norme NF EN 206-1 peuvent être formulés : bétons adaptés avec ou sans spécification sur la teneur en air, béton résistant au gel (béton G) et béton résistant au gel et aux sels de déverglaçage (béton G+S). Seuls les bétons correspondants aux cases vertes, dans le tableau 5, font l'objet de prescriptions particulières. Ces dernières distinguent les bétons dits traditionnels (Rc < 50 MPa) des BHP (Rc > 50 MPa), concernant la nature des matériaux utilisés, les paramètres de formulation (dosages en ciment et en eau), la résistance à la compression minimale du béton, le facteur d'espacement du réseau de bulles d'air entraîné ou encore des essais de performance (essai d'écaillage selon la norme XP P 18-420, essai de gel selon les normes P 18-424 ou P 18-425).

Le respect des prescriptions de la norme NF EN 206-1 dans le cas des bétons adaptés, ou des prescriptions particulières relatives aux bétons G et G+S données par le guide du LCPC, permet de lutter efficacement contre les désordres liés à l'action répétée des cycles de gel/dégel associés à l'utilisation de sels de déverglaçage.

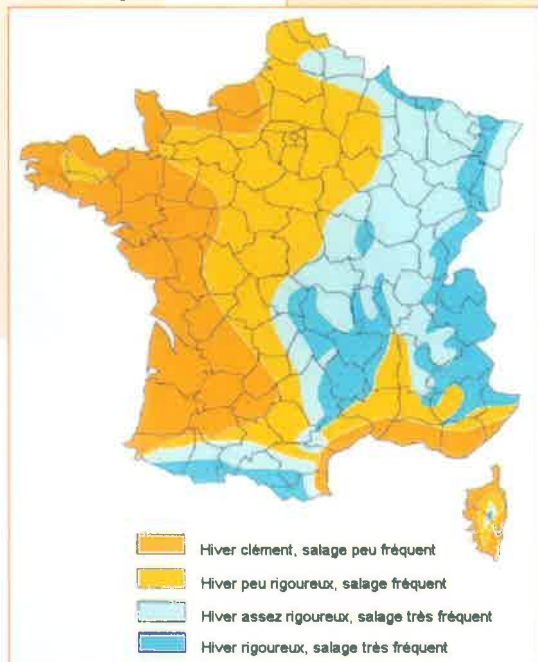
Christophe Carde  
Directeur technique du LERM<sup>1</sup>

<sup>1</sup>En tant que laboratoire conseil indépendant spécialisé dans la caractérisation des matériaux de construction et de leurs pathologies, le LERM (Laboratoire d'études et de recherches sur les matériaux) est chaque jour confronté à l'étude des problématiques liées aux bétons. Les effets du gel/dégel sur le béton font partie des phénomènes étudiés et maîtrisés par le laboratoire.

Fig. 4a et 4b. Carte des zones de gel en France.



Carte de salage en France.



Les autres facteurs influençant la résistance au gel des bétons sont bien entendu liés aux cycles de gel/dégel eux-mêmes (nombre de cycles, vitesse de refroidissement, température minimale atteinte, durée du gel), aux conditions environnementales, en particulier l'amplitude des précipitations, et à la nature des éléments

Tableau 5

Choix du type de bétons		Type de gel	
		Modéré	Sévère
Type de salage	Peu fréquent	Béton adapté <sup>2</sup> (XF1)	Béton G (XF3)
	Fréquent	Béton adapté <sup>2</sup> (XF2) avec teneur en air minimale = 4 % ou essais de performance	Béton G + S (XF2 ou XF4)
	Très fréquent	Béton G + S (XF2 ou XF4)	Béton G + S (XF2 ou XF4)

<sup>2</sup>Béton adapté : béton conforme à la NF EN 206-1