


## **PRESCRIPTIONS COMPLEMENTAIRES RELATIVES A LA PREVENTION VIS-À-VIS DU GEL/DEGEL**

**Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre**



Le choix du niveau de prévention **G** ou **G+S**, pour **chaque partie d'ouvrage**, est de la responsabilité du maître d'ouvrage.



Les **niveaux de gel et de salage**, les **classes d'exposition**, la **catégorie d'ouvrage** et les éventuels **niveaux de prévention** associés à chaque partie d'ouvrage doivent être prescrites par le rédacteur du CCTP et précisées dans le CCTP (cf. tableau présenté dans la fiche « Décomposition en parties d'ouvrage et tableau de définition des bétons »).

## Exemple de texte à intégrer dans le CCTP :

L'entreprise a la responsabilité de mettre en œuvre les prescriptions décrites dans les Recommandations pour la durabilité des bétons durcis soumis au gel (UGE-2021).

Pour l'application des Recommandations (UGE-2021) :

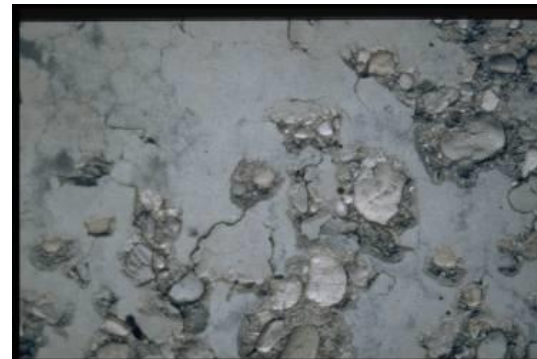
- les parties d'ouvrages relevant de la classe d'exposition XF3 avec **niveau de prévention G** sont les suivantes : [...].
- les parties d'ouvrages relevant de la classe d'exposition XF4 avec **niveau de prévention G+S** sont les suivantes : [...].

Les Recommandations (UGE-2021) **doivent être prescrites** dans les pièces du marché pour être applicables.

## PATHOLOGIES POTENTIELLES GENEREES PAR LE GEL/DEGEL

Les bétons soumis à des **cycles de gel/dégel en présence d'eau** peuvent être concernés par deux types principaux de dégradations :

- les dégradations par **gel interne**, qui se manifestent par une fissuration dans la masse du béton,
- les dégradations par **écaillage**, qui se manifestent par une perte d'écailles de béton, depuis la surface vers la profondeur, **en présence de sels de déverglaçage**.



**Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre**

## PARAMETRES CLES

Paramètres clés pour le développement des pathologies :

- Exposition au **gel** (cycles de gel/dégel, accessibilité au gel de la partie d'ouvrage...),
- Exposition au **sel** (niveau de salage, distance, orientation de la partie d'ouvrage...),
- Saturation en **eau** (surface horizontale ou soumise aux projections),
- Gélivité des **granulats**,
- **Résistance** minimale de la pâte à la **traction** (nature du liant, rapport Eau Efficace/Liant Equivalent...),
- Structure du **réseau poreux** (capacité d'entraîner de l'air, taille et espacement moyen des pores...),
- ...

Généralement non concernées : parties d'ouvrages enterrées à plus de 1 m de profondeur.

Non concernées : parties d'ouvrages toujours sèches (intérieur de bâtiment chauffé...).

## TEXTES DE REFERENCE

La démarche est définie par les **Recommandations pour la durabilité des bétons durcis soumis au gel** (UGE-2021).

Normes d'essais :

- NF P18-424. Bétons - Essai de gel sur béton durci - Gel dans l'eau - Dégel dans l'eau. [dit « essai de gel sévère »],
- NF P18-425. Bétons - Essai de gel sur béton durci - Gel dans l'air - Dégel dans l'eau. [dit « essai de gel modéré »],
- XP P18-420. Béton - Essai d'écaillage des surfaces de béton durci exposées au gel en présence d'une solution saline,
- NF EN 12350-7. Essais pour béton frais - Partie 7 : teneur en air - Méthode de la compressibilité,
- XP P18-465. Bétons durcis Détermination du facteur d'espacement des bulles d'air [dit « Lbarre »].

**Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre**

## PRINCIPE GENERAL DE PREVENTION

La démarche de prévention passe par la définition d'un niveau de prévention :

- **G** : pour les bétons devant résister aux **cycles de gel/dégel pur**,
- **G + S** : pour les bétons devant résister aux **cycles de gel/dégel en présence de sels de déverglaçage**.

Ces niveaux de prévention renforcent les exigences des textes usuels (NF EN 206/CN, le cas échéant : fascicule 65...).

## AIDE A LA DETERMINATION DU NIVEAU DE PREVENTION

Expositions (parties d'ouvrages)		Conditions de site					
Exposition aux sels	saturation en eau <sup>1)</sup>	Gel faible ou modéré			Gel sévère		
		Salage peu fréquent ou aucun	Salage fréquent	Salage très fréquent	Salage peu fréquent ou aucun	Salage fréquent	Salage très fréquent
oui	Forte	XF1	XF2	<b>XF4 (G+S)</b>	<b>XF3 (G)</b>	<b>XF4 (G+S)</b>	<b>XF4 (G+S)</b>
	Faible	XF1	XF2	XF2	<b>XF3 (G)</b>	<b>XF4 (G+S)</b>	<b>XF4 (G+S)</b>
non	Forte	XF1	XF1	XF1	<b>XF3 (G)</b>	<b>XF3 (G)</b>	<b>XF3 (G)</b>
	Faible	XF1	XF1	XF1	<b>XF3 (G)</b>	<b>XF3 (G)</b>	<b>XF3 (G)</b>

<sup>1)</sup> Les éléments très exposés aux risques d'écaillage présentent des **surfaces horizontales** soumises aux **stagnations d'eau** et aux **projections directes de sels** de déverglaçage : corniches, solins d'ancrage des joints de chaussée, longrines d'ancrage des dispositifs de retenue...

**Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre**



## RECOMMANDATIONS GEL / DEGEL

### Quels types d'ouvrages sont concernés ?

Lorsque la classe d'exposition est XF3 ou XF4, une prescription de niveau de prévention G ou G+S peut être rajoutée pour certaines parties d'ouvrages des ouvrages suivants :

- ouvrages avec une durée d'utilisation de projet supérieure à 50 ans (et donc tous les ouvrages de génie civil), avec en particulier :

*ouvrages d'art : ponts routiers, autoroutiers ou ferroviaires  
bâtiments de prestige  
têtes de tunnels...*

- ouvrages particulièrement exposés ayant une durée d'utilisation de projet inférieure à 50 ans (opportunité à étudier au cas par cas) :

*parkings  
remontées mécaniques  
pistes d'aéroports et parkings avions (bétons G uniquement)  
stockages de sels...*

**Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre**

## RECOMMANDATIONS GEL / DEGEL

**Quelle différence entre XF3 et XF3 G ; XF4 et XF4 G+S ?**

1/2

Les classes d'exposition **XF1 à XF4** renvoient à des prescriptions (NF EN 206/CN, ou le cas échéant fascicule 65, CCTG SNCF IN 0034...) relatives :

- au rapport maximal Eau Efficace/Liant Equivalent,
- au dosage minimal en Liant Equivalent,
- aux caractéristiques complémentaires des ciments (ES/SR),
- aux taux de substitution autorisés du ciment (CEM I ou CEM II/A) par des additions,
- à la teneur minimale en air occlus,
- aux valeurs minimales d'enrobage (norme NF EN 1992-1-1).

**Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre**

## RECOMMANDATIONS GEL / DEGEL

**Quelle différence entre XF3 et XF3 G ; XF4 et XF4 G+S ?**

**2/2**

Les niveaux de prévention G et G+S renforcent ces exigences par :

- des valeurs plus strictes pour les limites de composition du béton,
- des spécifications sur la nature des constituants du béton,
- des performances vérifiées sur la base d'essais semi-performantiels (essais d'écaillage et/ou de gel interne en enceinte climatique) ou d'indicateurs de substitution ( $L_{barre}$  = facteur d'espacement des bulles d'air), avec une définition des seuils d'acceptation,
- des programmes détaillés pour les études, convenances et contrôles.

Ces différences sont synthétisées dans les figures 1 et 2.

**Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre**

## Principales spécifications induites par le niveau de prévention G

Fig.1

Classes d'exposition XF3		
XF3		XF3 (G)
Texte de référence	NF EN 206/CN	NF EN 206/CN et Recommandations UGE 2021
Exigences spécifiques :	<del>essais</del> initial <del>matériaux</del> , résistance en compression et limites de composition selon NF EN 206/CN	<del>études</del> et convenances spécifiques. <del>renforcement</del> exigences sur matériaux, résistance en compression et limites de
Méthode de validation de la résistance au gel :	<del>teneur</del> en air spécifiée (NF EN 12350-7)  OU essai de performance au gel interne (NF P18-424 ou NF P18-425)	teneur en air (NF EN 12350-7) ET Lbarre (XP P18-465)  OU essai de performance au gel interne (NF P18-424 ou NF P18-425)
Critères essais préalable à la production :	<u>seuils pour l'essai initial :</u>  teneur en air $\geq 4\%$ avec résistance en compression conforme  OU gel interne : $\Delta I/I \leq 400 \mu\text{m/m}$ ET $(f_{cu}/f_{ck})^2 \geq 0,75$	<u>seuils pour étude/convenance :</u>  teneur en air : détermination de la plage de valeur garantissant un Lbarre $\leq 250 \mu\text{m}$ et une résistance en compression conforme.  OU gel interne : $\Delta I/I \leq 400 \mu\text{m/m}$ ET $(f_{cu}/f_{ck})^2 \geq 0,75$
Critères en contrôle :	<del>teneur</del> en air pouvant s'écarter de -0,5 à +5 point de pourcent par rapport à la valeur minimale spécifiée (soit comprise dans une plage de 3,5 à 9% pour une valeur minimale spécifiée de 4%).  OU gel interne : $\Delta I/I \leq 500 \mu\text{m/m}$ ET $(f_{cu}/f_{ck})^2 \geq 0,60$	teneur en air : comprise dans la plage validée en étude et convenance, sans dépasser +5 point de pourcent par rapport à la valeur minimale autorisée. Lbarre : $\leq 300 \mu\text{m}$  OU gel interne : $\Delta I/I \leq 500 \mu\text{m/m}$ ET $(f_{cu}/f_{ck})^2 \geq 0,60$

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

## Principales spécifications induites par le niveau de prévention G+S

Fig.2

Classes d'exposition		
XF4		
Texte de référence	NF EN 206/CN	NF EN 206/CN et Recommandations UGE 2021
Exigences spécifiques :	essais initial matériau, résistance en compression et limites de composition selon NF EN 206/CN	études et convenances spécifiques. renforcement exigences sur matériaux, résistance en compression et limites de composition.
Méthode de validation de la résistance au gel/sel :	teneur en air spécifiée (NF EN 12350-7)  OU  essais de performance : gel interne (NF P18-424 ou NF P18-425) ET écaillage (XP P18-420)	teneur en air (NF EN 12350-7) ET barre (XP P18-465)  OU  essai de performance gel interne (NF P18-424 ou NF P18-425)  ET essai de performance d'écaillage (XP P18-420)
Critères essais préalables à la production :	seuils pour l'essai initial :  teneur en air $\geq 4\%$ avec résistance en compression conforme  OU  gel interne : $\Delta I/I \leq 400 \mu\text{m/m}$ ET $(f_{tr}/f_0)^3 \geq 0,75$ ET écaillage : $\leq 600 \text{ g/m}^2$	seuils pour étude/convenance :  teneur en air : détermination de la plage de valeur garantissant un barre $\leq 200 \mu\text{m}$ et une résistance en compression conforme.  OU  gel interne : $\Delta I/I \leq 400 \mu\text{m/m}$ ET $(f_{tr}/f_0)^3 \geq 0,75$  ET écaillage : $\leq 600 \text{ g/m}^2$
Critères en contrôle :	teneur en air pouvant s'écarter de $-0,5$ à $+5$ point de pourcent par rapport à la valeur minimale spécifiée (soit comprise dans une plage de $3,5$ à $9\%$ pour une valeur minimale spécifiée de $4\%$ ).  OU  gel interne : $\Delta I/I \leq 500 \mu\text{m/m}$ ET $(f_{tr}/f_0)^3 \geq 0,60$  ET écaillage : $\leq 750 \text{ g/m}^2$	teneur en air : comprise dans la plage validée en étude et convenance, sans dépasser $+5$ point de pourcent par rapport à la valeur minimale autorisée. barre : $\leq 250 \mu\text{m}$  OU  gel interne : $\Delta I/I \leq 500 \mu\text{m/m}$ ET $(f_{tr}/f_0)^3 \geq 0,60$  ET écaillage : $\leq 750 \text{ g/m}^2$

Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre

## RECOMMANDATIONS GEL / DEGEL

### Faut-il imposer ou interdire certains ciments/additions/granulats ? 1/2

Cas général : le choix des constituants relève de la responsabilité de l'entreprise et/ou du producteur de béton.



Veiller à ce que les prescriptions du marché relatives aux ciments et additions ne soient pas trop contraignantes, sous peine d'aboutir rapidement à des impossibilités techniques.

Cependant, du fait des particularités liées à la dégradation par gel/dégel, des prescriptions détaillées sur les constituants et les limites de composition sont définies dans les Recommandations UGE-2021.

Elles prennent en compte les aspects suivants :

- Les granulats doivent être non gélifs,
- Des précautions sont à prendre sur le choix des liants.

**Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre**

## RECOMMANDATIONS GEL / DEGEL

### Faut-il imposer ou interdire certains ciments/additions/granulats ? 2/2

L'Annexe A des Recommandations (UGE-2021) définit des modalités de validation pour les formulations non courantes utilisant :

- Des granulats de résistance au gel F2 à F4 ;
- Des teneurs en laitier de hauts fourneaux supérieures à 35% en masse du liant total ;
- Des cendres volantes ;
- Des ciments autres que les ciments CEM I, CEM II/A ou B ou CEM IV ;
- Des microbilles plastiques.



**L'emploi de ces formulations alternatives nécessite l'accord explicite du maître d'œuvre.**

Les ciments introduits par la norme NF EN 197-5 ne sont pas autorisés dans le cadre des Recommandations (UGE, 2021) pour les formulations avec adjuvant entraîneur d'air.

**Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre**

## RECOMMANDATIONS GEL / DEGEL

**Peut-on réaliser les essais de durabilité au gel au-delà de 28 jours pour les bétons formulés avec des additions ou des ciments composés ?**

A la différence de pathologies telles que la carbonatation des bétons, les endommagements liés au gel/écaillage peuvent se produire dès le premier hiver d'exposition.



**Les essais de durabilité en enceinte climatique doivent être réalisés à 28 j** (conformément aux normes d'essais) **dans le cas général**, même si les propriétés du béton pourraient être améliorées par un temps de maturation plus long.



dans le cas particulier où l'ouvrage ne serait **pas soumis aux sels de déverglaçage avant 90 j** (majorité des ouvrages neufs, certaines pièces préfabriquées...), il est possible de réaliser l'essai d'écaillage à 90 j selon les modalités d'essais décrites au §6.4.3 des Recommandations (UGE, 2021).



## RECOMMANDATIONS GEL / DEGEL

**Quelles sont les conséquences de la prescription d'un niveau de prévention G ou G+S ?**



A réserver dans le cas où la **résistance au gel / écaillage** représente un **enjeu majeur**, ce qui est généralement le cas pour les ouvrages relevant d'une durée d'utilisation de projet de 100 ans situés en environnement hivernal rigoureux.

En effet, ces prescriptions conduisent à :

- Ecarter ou limiter certains constituants,
- Augmenter les dosages en liant équivalent, ce qui nécessite une prise en compte adaptée du risque de développement d'une RAG ou d'une RSI,
- Augmenter potentiellement le risque de corrosion (si présence d'air entrainé),
- Augmenter les risques de problèmes de résistance et de mise en œuvre (si mauvaise maîtrise de l'air entrainé),
- Augmenter les délais (essais longs, études et convenances lourdes).

**Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre**

## RECOMMANDATIONS GEL / DEGEL

### Quelles sont les implications d'une modification de composition du béton?

En cours de chantier, toute modification de la composition du béton doit conduire à s'interroger sur le maintien des conditions de sa non-gélivité.

Modification importante au sens de la durabilité au gel et aux sels



Réaliser à nouveau les études et convenances (attention : délais d'essais importants).

Modalités de prise en compte des adaptations saisonnières des formulations définies dans le §8.2.3. des Recommandations (UGE, 2021).

**Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre**

## RECOMMANDATIONS GEL / DEGEL

Quel essai choisir pour valider une composition de béton vis-à-vis du risque de gel interne ou d'écaillage ? 1/2

### 3 catégories d'essais :

- **Essais semi-performantiels**, permettant de caractériser en enceinte climatique les performances des bétons. Ils constituent la **méthode de référence** :
  - Gel dans l'air - dégel dans l'eau : NF P18-425 (durée : 3,5 mois) : **GEL INTERNE**,
  - Gel dans l'eau - dégel dans l'eau : NF P18-424 (durée : 3,5 mois) : **GEL INTERNE**,
  - Gel en présence de sels (écaillage) : XP P18-420 (durée : 3 mois) : **ECAILLAGE**.
- **Indicateur de substitution** aux 2 essais de gel interne, permettant la validation rapide (environ 7 jours) de la résistance au **gel interne** (au sens du niveau de prévention G) pour la plupart des bétons formulés avec un adjuvant **entraineur d'air** :
  - facteur d'espacement des bulles d'air : XP P18-465.

**Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre**

## RECOMMANDATIONS GEL / DEGEL

**Quel essai choisir pour valider une composition de béton vis-à-vis du risque de gel interne ou d'écaillage ?** **2/2**

- **Indicateur rapide** permettant de s'assurer **sur chantier**, à la livraison du béton, que la **teneur en air occlus** reste compatible avec les valeurs ayant permis de valider la composition à l'issue des épreuves d'étude et de convenance :
  - Teneur en air, méthode de la compressibilité : NF EN 12350-7.

## RECOMMANDATIONS GEL / DEGEL

### QUEL TYPE D'ESSAI DE GEL INTERNE ?

		Type de gel	
		modéré	Sévère
Saturation en eau	Modérée	-	NF P18-425
	Forte	NF P18-425	NF P18-424

Cas général : ne pas prescrire en même temps la réalisation d'un essai de gel interne et la détermination du facteur d'espacement des bulles d'air.

## RECOMMANDATIONS GEL / DEGEL

**Est-il obligatoire d'utiliser un adjuvant entraîneur d'air pour les bétons G ou G+S ?**

**Oui, sauf pour certains bétons  $\geq 50$  MPa et les bétons projetés.**

Attention aux délais d'essais si formulation sans entraîneur d'air.

Si utilisation de microbilles plastiques compressibles en substitution d'un adjuvant entraîneur d'air pour la prévention au gel



Validation sur la base d'essais en enceinte climatique.

## RECOMMANDATIONS GEL / DEGEL

### Y-a-t-il des essais spécifiques pour les bétons projetés ?

Le  $L_{\text{barre}}$  n'est généralement pas adapté à ce type de béton. La résistance au gel sera donc évaluée à partir des **essais de durabilité au gel interne** (NF P18-424 ou NF P18-425).

Les essais d'écaillage seront réalisés sur **face sciée**, l'irrégularité de la surface de béton projeté rendant illusoire la possibilité de maintenir une couche de saumure d'épaisseur constante pendant l'essai.

**Seuils de conformité adaptés en conséquence** : cf. § A6.5 des Recommandations (UGE, 2021).

## COMPOSITION DU GROUPE DE TRAVAIL

AIT ALAIWA Abdelghafour  
AMMOUCHE Abdelkrim  
BIGAS Jean-Philippe  
BILYK Christophe  
BRU Stéphane  
CAPRA Claire  
DIERKENS Michaël  
JANIN Murielle  
MOULIN Isabelle  
PINEAU François  
RAGOUT Sylvaine  
WALLER Vincent

VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS  
LERM SETEC  
CHRYSO  
SNCF RESEAU DIRECTION INGENIERIE et PROJETS  
VICAT  
LAFARGE HOLCIM  
CEREMA  
ECOCEM  
LERM SETEC  
ANDRA  
LAFARGE HOLCIM  
UNIBETON HEIDELBERGCEMENT GROUP

Animation du groupe : Michaël DIERKENS

**Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre**



**Merci de votre  
attention**

**Recommandations à l'usage des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre**