

## RECOMMANDATIONS : BIEN PRESCRIRE LES BÉTONS

### REACTION SULFATIQUE INTERNE (RSI)

Le choix des catégories d'ouvrage, des classes d'exposition de chaque partie d'ouvrage vis-à-vis des risques de Réaction Sulfatique Interne et des niveaux de prévention à mettre en œuvre est de la responsabilité du maître d'ouvrage.

Les catégories d'ouvrage, les classes d'exposition associées à chaque partie d'ouvrage et les niveaux de prévention doivent être prescrits par le rédacteur du CCTP et précisées dans le CCTP.

L'entreprise doit mettre en œuvre les prescriptions proposées dans les Recommandations pour la prévention des désordres dus à la réaction sulfatique interne (Guide IFSTTAR 2017).

Ce document doit être prescrit dans les pièces du marché pour être applicable.

#### ***Exemple de rédaction :***

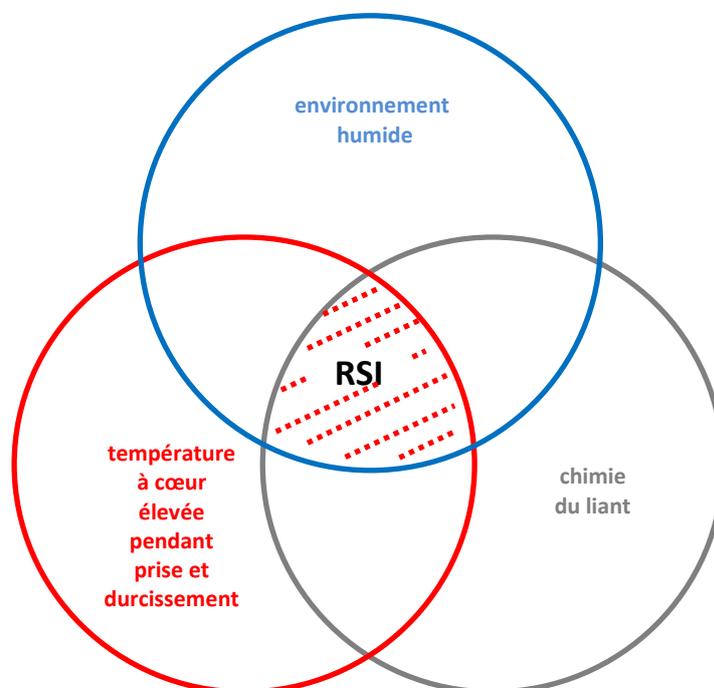
**Conformément aux Recommandations pour la prévention des désordres dus à la réaction sulfatique interne (Guide IFSTTAR 2017) :**

- **L'ouvrage est de catégorie [...] à l'exception des éléments provisoires qui relèvent de la catégorie I**
- **Les parties d'ouvrages relevant de la classe d'exposition XH2 sont les suivantes : [...].**
- **Les parties d'ouvrages relevant de la classe d'exposition XH3 sont les suivantes : [...].**
- **Les autres parties d'ouvrages relèvent de la classe d'exposition XH1.**

## GÉNÉRALITÉS

La Réaction Sulfatique Interne correspond à la formation différée d'ettringite dans une matrice cimentaire déjà durcie. L'ettringite primaire, constituant normal issu de la prise des ciments, n'a dans ce cas pas pu se former, du fait d'une **élévation importante de la température du béton au cours de sa prise et du début de son durcissement.**

Cette pathologie concerne potentiellement uniquement des bétons ayant subi une température au jeune âge supérieure à 65°C. En effet, à cette température, l'ettringite (dite primaire) ne peut pas se former. Il en résulte une mise en solution de sulfates qui peuvent réagir de manière différée (au bout de quelques années voire dizaines d'années) avec les aluminates apportés par le ciment, en présence d'eau, et conduire à la formation différée d'ettringite (dite secondaire). L'apport d'eau est piloté essentiellement par l'environnement dans lequel est placée la partie d'ouvrage concernée.



### Zone de risque pour la RSI

Les paramètres clés pour le développement de la pathologie sont :

- La présence d'eau/d'humidité en contact prolongé avec le béton
- La température maximale atteinte et la durée du maintien à température élevée au jeune âge
- Les teneurs en sulfates et aluminates du ciment
- La teneur en alcalins du béton.

Cette réaction peut se traduire par la formation d'ettringite gonflante dans la masse de l'ouvrage, pouvant conduire à la fissuration dans la masse puis en surface de la partie d'ouvrage concernée. Il s'agit d'une réaction lente, pouvant apparaître plus ou moins tôt (quelques années après la construction) et pouvant s'étaler sur des dizaines d'années. Cette pathologie peut concerner les

ouvrages de génie civil et bâtiment contenant des parties d'ouvrage de taille importante ou des éléments soumis à un traitement thermique, en contact avec l'eau ou l'humidité.

Les parties d'ouvrages concernées sont :

1. Les pièces soumises à un traitement thermique
2. Les **pièces critiques** coulées en place : pièces en béton pour lesquelles la chaleur dégagée par l'hydratation du ciment n'est que très partiellement évacuée vers l'extérieur et conduit à une élévation importante de la température du béton. Une attention particulière doit être apportée aux **pièces massives**.

**Les pièces d'épaisseur < 0,25 m coulées en place ne sont en général pas concernées.**

*Note : cette réaction est aussi dénommée Formation Différée d'Ettringite (Delayed Ettringite Formation ou DEF en anglais).*

## TEXTES DE RÉFÉRENCE

La démarche de prévention est définie par les Recommandations pour la Prévention des désordres dus à la réaction sulfatique interne (Guide Ifsttar de 2017). **Ce document doit être prescrit dans les pièces du marché pour être applicable.**

Des éléments de ce texte de référence sont repris partiellement dans la suite du document mais le lecteur est invité à s'y reporter chaque fois que nécessaire.

### Principe général de prévention

La démarche de prévention vis-à-vis de la Réaction Sulfatique Interne passe par la définition :

- D'une Catégorie d'Ouvrage, qui prend en compte l'acceptabilité du risque de dégradation que le maître d'ouvrage est prêt à accepter pendant la durée d'utilisation de l'ouvrage (conséquence des désordres sur la sécurité, l'entretien et la maintenance).
- D'une Classe d'Exposition spécifique à la Réaction Sulfatique Interne, pour chaque partie d'ouvrage, qui prend en compte l'influence de l'environnement sur la probabilité le déclenchement de la réaction.

Le croisement de ces deux paramètres conduit à la définition du Niveau de Prévention (ordre croissant d'exigences de As vers Ds), correspondant à un ensemble de précautions à prendre pour se prémunir du risque de Réaction Sulfatique Interne.

Le rédacteur du CCTP pourra s'aider du tableau suivant pour déterminer ce niveau de prévention :

		Classes d'Exposition spécifiques à la RSI		
		XH1	XH2	XH3
Catégorie d'Ouvrage	I	As	As	As
	II	As	Bs	Cs
	III	As	Cs	Ds

**Détermination du niveau de prévention en fonction de la catégorie d'ouvrage et de la classe d'exposition spécifique à la Réaction Sulfatique Interne (cf. Tabl. 3 des Recommandations de l'Ifsttar)**

## LES TROIS CATÉGORIES D'OUVRAGE

Les éléments non porteurs à l'intérieur des bâtiments, les ouvrages provisoires ou facilement remplaçables et les éléments préfabriqués non structurels relèvent de la catégorie I.

La majeure partie des ouvrages courants de génie civil relève de la catégorie II.

La catégorie III ne concerne que les ouvrages exceptionnels (centrales nucléaires, barrages, viaducs, tunnels, bâtiments de prestige...) et les traverses de chemin de fer.

## CLASSES D'EXPOSITION SPÉCIFIQUES À LA RÉACTION SULFATIQUE INTERNE

La classe d'exposition spécifique à la RSI traduit l'influence de l'environnement sur la probabilité de déclenchement de la réaction. Elle est directement liée à l'exposition à l'eau ou à l'humidité de la partie d'ouvrage concernée (pas de réaction sulfatique sans contact prolongé avec l'eau).

Classe d'exposition RSI	Description de l'environnement
XH1	Sec ou humidité modérée
XH2	Alternance d'humidité et de séchage, humidité élevée
XH3	En contact durable avec l'eau : immersion permanente, stagnation d'eau à la surface, zone de marnage.

## Impact du niveau de prévention sur la prise en compte du risque de RSI dans la formulation des bétons

A titre d'information, les implications du choix de niveau de prévention sont résumées ci-dessous.

Si  $T_m$  est la température maximale susceptible d'être atteinte au cœur de l'ouvrage :

Niveau de prévention	Cas général	Si respect des conditions dérogatoires prévues par les Recommandations
<b>As</b>	$T_m < 85^\circ\text{C}$	$T_m < 90^\circ\text{C}$
<b>Bs</b>	$T_m < 75^\circ\text{C}$	$T_m < 85^\circ\text{C}$
<b>Cs</b>	$T_m < 70^\circ\text{C}$	$T_m < 80^\circ\text{C}$
<b>Ds</b>	$T_m < 65^\circ\text{C}$	$T_m < 75^\circ\text{C}$

### Types de dispositions pouvant être prises

Des dispositions peuvent être prises :

- **Au niveau de la conception et du dimensionnement** de l'ouvrage, en évitant les pièces massives, en privilégiant les pièces creuses, en évitant les zones de stagnation d'eau.
- **Au stade de la validation d'une composition du béton**, la prévention étant alors essentiellement abordée par le biais d'une limitation de la température atteinte au cœur du béton au jeune âge, avec généralement des dérogations possibles fonctions de la physico-chimie du béton/ciment (teneurs en alcalins, sulfates...), des modalités de mise en œuvre (préfabrication, coulage en place) ou des résultats d'essais de performance.
- **Au cours de la mise en œuvre du béton**, en évitant le coulage des ouvrages en périodes de fortes chaleurs ou en mettant en œuvre les moyens nécessaires pour réduire la température du béton une fois mis en place en permettant à la chaleur développée lors de l'hydratation du ciment de s'évacuer (préférer des coffrages en acier au coffrage en bois, arroser les surfaces coffrées).

## Compléments d'informations utiles pour la Prescription

### ***Comment le maître d'ouvrage fait-il pour choisir le bon niveau de prévention ?***

Sauf dans le cas où le maître d'ouvrage aurait une compétence technique forte dans le domaine de la prévention de la Réaction Sulfatique Interne, la démarche recommandée est celle exposée dans le tableau 3 des Recommandations de l'Ifsttar 2017.

### ***Faut-il imposer ou interdire des ciments/additions ?***

Dans le cas général, le choix du ciment et des éventuelles additions relève de la responsabilité de l'entreprise et/ou du producteur de béton. Il faut donc veiller à ce que les prescriptions du marché relatives aux ciments et additions, qu'elles soient directes (\*) ou indirectes (\*\*), ne soient pas trop contraignantes, sous peine d'aboutir rapidement à des impossibilités techniques. Il faut en effet laisser à l'entreprise le plus de latitude possible pour pouvoir trouver la formulation de béton optimale, dans le respect des exigences (normatives et/ou techniques) visées par le marché.

(\*) à limiter au maximum, et à utiliser uniquement sur la base d'une justification technique par des rédacteurs ayant une forte compétence dans le domaine.

(\*\*) *via* les Recommandations sur la Durabilité au Gel, les dispositions pour le retrait, la prise en compte des réactions de gonflement interne, les exigences de montée rapide en résistance...

La prévention ne doit pas se limiter au seul choix tardif du ciment en phase d'études, sous peine de se retrouver à devoir gérer des incompatibilités inextricables. La démarche doit être prise en compte très en amont : géométrie des parties d'ouvrages, phasages, délais de décoffrage...

### ***Comment valider la non-réactivité d'une formule vis-à-vis du risque de RSI ?***

Lorsque la composition le permet, privilégier les modes de justification basés sur l'annexe 3 des Recommandations de l'Ifsttar, permettant d'estimer facilement la température.

Lorsque la température ainsi estimée est proche du seuil (le fascicule 65 prend en compte un écart de 5°C), la température maximale théorique atteinte pourra être vérifiée au moyen d'une modélisation numérique, d'un essai semi-adiabatique (essai QAB selon NF EN 12390-14) ou d'un corps d'épreuve (e. g. bloc isolé instrumenté). Il est également possible de vérifier que cette température ne conduit pas au développement de la pathologie par la réalisation d'un essai de performance.

En ce qui concerne les parties d'ouvrages coulées en place, la démarche étant récente et pas encore complètement maîtrisée par l'ensemble des acteurs, il est préférable de demander *a minima* à l'entreprise une justification de la non-réactivité des bétons pour les pièces de plus de 50 cm d'épaisseur (\*). Ceci revient donc à valider la composition du béton concerné pour la pièce de plus grande épaisseur dans laquelle il va être employé. Dans la plupart des cas, cette justification peut être validée simplement à partir des abaques proposés par les Recommandations de l'Ifsttar 2017 (Annexe 3).

(\*) : les Recommandations de l'Ifsttar indiquent que les parties d'ouvrages d'épaisseur inférieure à 25 cm non soumises à un traitement thermique, ne sont en général pas concernées. Les retours d'expérience montrent que dans la plupart des cas, cette épaisseur peut être étendue à 50 cm.

### ***Conséquences de la prescription d'un niveau de prévention Ds***

Ne prescrire un niveau de prévention Ds que si c'est indispensable :

- Le respect des températures limites est difficile à atteindre,
- Ce niveau de prévention est parfois incompatible avec la possibilité de décoffrer à jeune âge.

### ***Conséquences du choix de réaliser l'essai de performance ?***

En cas de recours à un essai de performance, il est nécessaire de bien intégrer la durée de l'essai dans les phasages du projet : 12 à 15 mois.

### ***Quelles sont les implications d'une modification de composition du béton ou des conditions de mise en œuvre ?***

En cours de chantier, toute modification de la composition du béton doit conduire à s'interroger sur le maintien des conditions de non-réactivité du béton. De même, toute modification du phasage, de la période de bétonnage (glissement des bétonnages du printemps vers l'été) ou des méthodes de refroidissement doit être validée vis-à-vis du risque RSI.