Illustration de fissuration en surface de dalle (SYNAD)

**SYNDICAT NATIONAL
DES ADJUVANTS POUR BÉTON ET MORTIER**

Développement d'un dispositif expérimental pour le comparatif performanciel des solutions d'anti-fissuration

CONTEXTE

La propension à fissurer des mortiers et bétons est influencée par les paramètres de formulation ; l'environnement extérieur ; les conditions de mise en œuvre, le tout générant différents mécanismes de retrait. La fissuration peut être limitée par l'utilisation de solutions de renforcement antifissuration (S.R.A.F) telles que : les treillis antifissuration, les produits de cure et les microfibres. En outre l'application de ces solutions doit respecter des règles de l'art et les recommandations des fiches producteurs, au risque de ne pas remplir leurs fonctions.

Les solutions anti-fissurations sont de plus en plus présentes et variées sur le marché, l'offre les rend facile à appliquer et elles permettent un gain de temps sur les chantiers. Du fait de leurs diversités et de l'innovation croissante, les travaux menés par le SYNAD ont pour objectifs de développer et proposer un protocole harmonisé d'essais cadrés pour évaluer la performance de ces S.R.A.F. La conception d'un banc expérimental servira d'une part à sensibiliser les acteurs du milieu sur le phénomène de fissuration et d'autre part à qualifier et quantifier la performance des différentes S.R.A.F disponibles.

Mots-clefs :
Bétons ; solutions renforcement anti-fissurations ; conditions environnementales ; dalle béton ; banc de test ; retrait au jeune âge

I - DÉMARCHE

L'objectif est de définir un cadre expérimental et de développer un dispositif reproduisant la fissuration au jeune âge d'une dalle de béton en laboratoire afin d'évaluer les performances des S.R.A.F face à cette problématique. La conception de ce banc d'essai repose sur une analyse bibliographique scientifique [cf. Travaux cités] et sur le retour d'expérience des applicateurs. Les principaux paramètres d'études sont définis au regard de l'analyse de l'ensemble des mécanismes à l'origine de la fissuration des dalles de bétons au jeune âge.
Le cas d'étude correspond à une dalle de béton composée de ciment base portland de faible épaisseur, inférieure à 20 cm, mise en œuvre sur une surface de 1,80 m x 0,90 m.

I.1 Origine de la fissuration

I.1.1 Conditions asséchantes

Les conditions environnementales extérieures asséchantes correspondent à la combinaison d'une température élevée, une hygrométrie basse et une vitesse de vent élevée. La dessiccation du béton résulte de l'évaporation de surface qui peut être amplifiée par ces trois paramètres. Il en résulte une contraction volumique de l'élément béton. Si les mouvements générés sont empêchés, des fissures peuvent apparaitre (cf. figure 1).

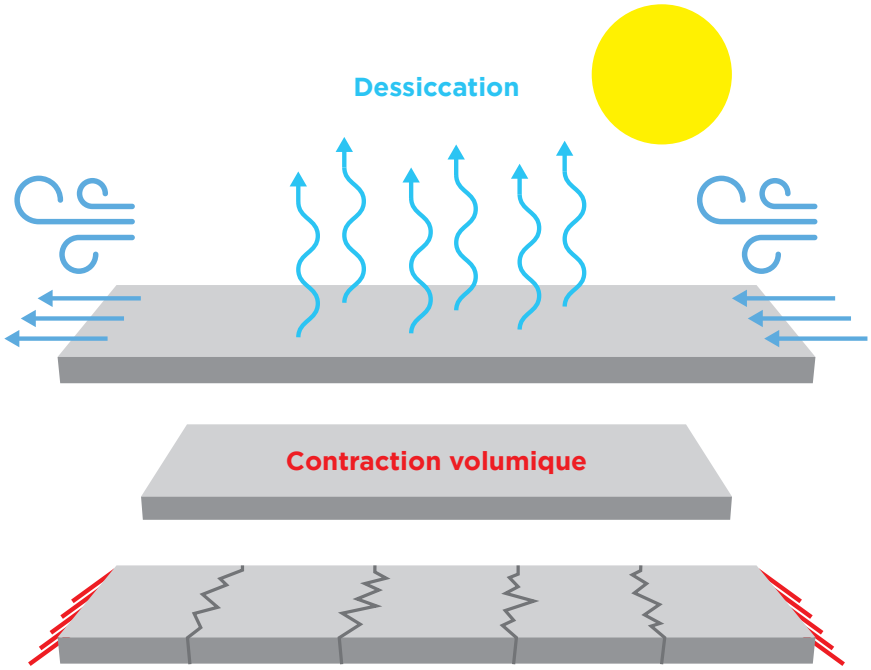


Figure 1 : Schématisation de la fissuration du béton induite par des conditions environnementales asséchantes

L'American Concrete Institute (ACI) propose un abaque développé par la *National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA)*, permettant d'évaluer le taux de dessiccation à la surface d'une dalle béton en fonction de la température et de l'hygrométrie de l'air, de la température du béton et de la vitesse du vent (cf. figure 2). La lecture en 4 étapes, symbolisée en rouge, permet de déterminer un taux dessiccation relatif aux conditions identifiées.
Selon (ACI, 2007), un taux de dessiccation supérieur à 1 kg/m²/h peut présenter des risques vis-à-vis de la fissuration accrue de l'élément béton au jeune âge. Il est alors conseillé d'adapter le système de prévention de la fissuration.

Cette valeur n'est pas universelle pour tous les types de béton. Il convient de considérer les paramètres de formulation (E/C ; E/L ; quantités de fines, temps de prise, développement des résistances…).

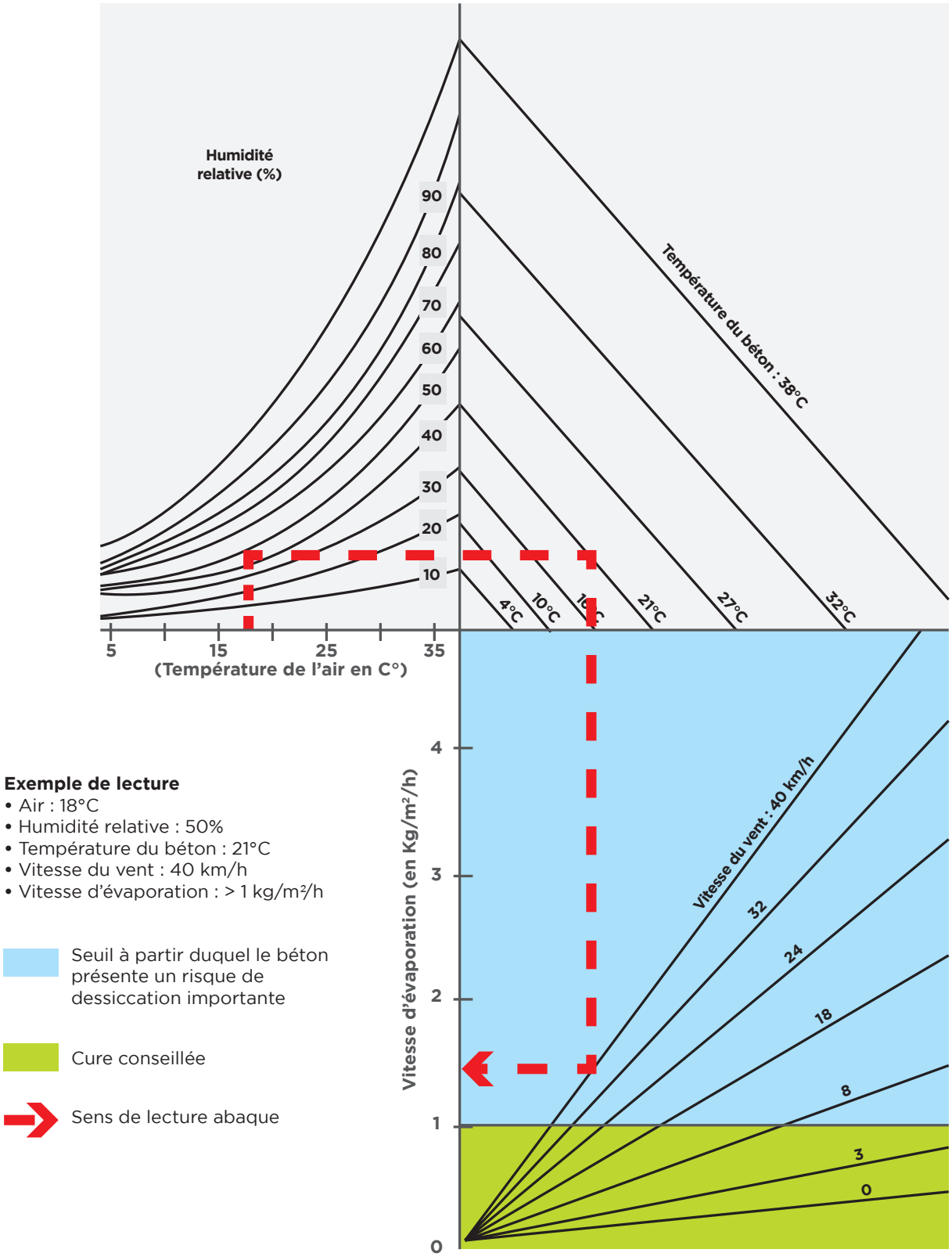


Figure 2 : Estimation du taux de dessiccation à la surface du béton en fonction des conditions environnementales. Exemple de lecture (ACI,2007 ; source SYNAD)

I.1.2 Mécanismes et types de retrait

On distingue différents types de retrait au jeune âge. Le tableau 1 synthétise les différents mécanismes et leurs participations relatives au phénomène de fissuration dans notre cas d'étude.

Mécanisme de retrait	Composante initiatrice du retrait	Impact sur la fissuration d'un dallage en béton	
Thermique	Réaction exothermique de l'hydratation du ciment	- - -	Impactant dans les ouvrages massifs ; Faible pour les dallages considérés comme des pièces de faibles épaisseurs
Auto-dessiccation	Ratio massique E/C	- -	Faible compte tenu des E/C relativement élevées dans les formules de dallage courante
Chimique	Dosage en liant	+	Dans ce cas d'étude pas le paramètre le plus impactant du fait du dosage en liant peu élevé dans les formules de dallage courantes
Plastique	Exposition à la dessiccation dans la période dormante et pendant la prise	+ + +	Très importante en cas d'absence de cure
Dessiccation	Surface exposée à l'air importante et environnement asséchant	+ + +	Très présent pour la géométrie des dalles concernées

Tableau 1 : Synthèse des types de retrait, de leurs mécaniques et de leurs importances au sein des dallages en béton

Compte tenu des typologies de bétons utilisées et de la géométrie des dalles, les retraits plastiques et de dessiccation sont les mécanismes qui vont préférentiellement contribuer à l'apparition de fissures. Ces mécanismes sont corrélés avec l'évolution de la prise du béton dans le temps, symbolisée par un dégagement de chaleur (cf. figure 3).

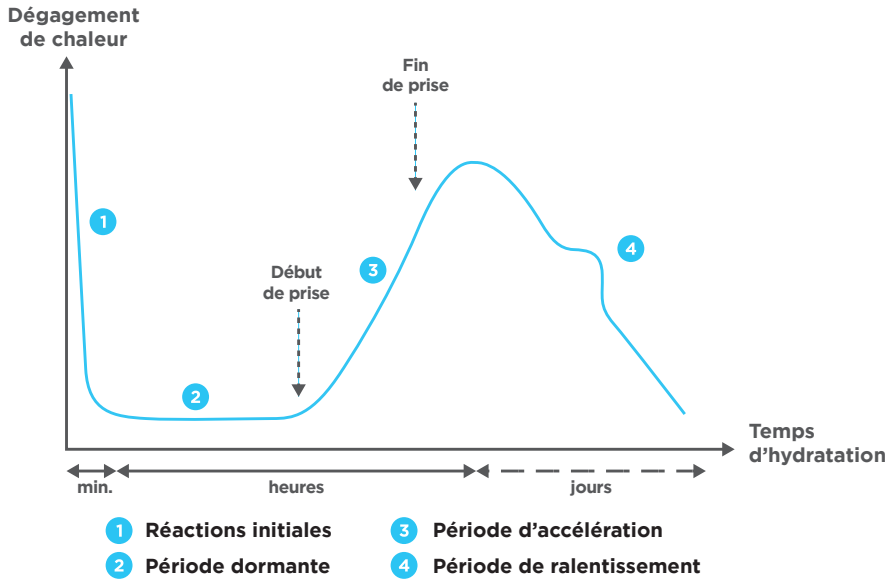


Figure 3 : Courbe caractéristique de dégagement de chaleur d'un ciment pendant son hydratation au cours du temps (A.Bresson, 2006)

LE RETRAIT PLASTIQUE (TASSEMENT + SÉCHAGE)

Ce retrait intervient après le coulage, entre la fin du ressuage et le début de prise et précède le retrait de séchage. Il est régi par 3 mécanismes représentés sur la figure 4 :

- Consolidation de la pâte : sédimentation et ressuage de l'eau en surface de l'élément ;
- Constitution de creux dans les pores à la suite de l'évaporation de l'eau de surface et interstitielle. Cela a pour effet de générer une attraction des grains de ciment issue de la dépression capillaire initiale ;
- La contraction chimique des particules de ciment lors de son hydratation.

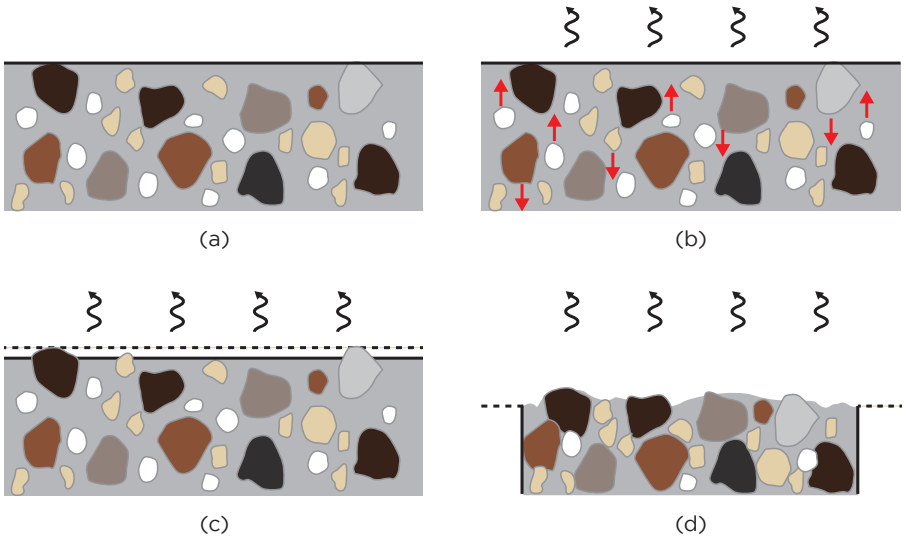


Figure 4 : Schéma du retrait plastique (a) état initial post-coulage (b) consolidation-tassement du béton (c) ressuage et évaporation en surface (d) formation de ménisque et poursuite de l'évaporation (Mbemba-Kiele, 2010)

LE RETRAIT DE DESSICCATION EXTERNE OU DE SÉCHAGE

Ce retrait est le résultat de l'évaporation de l'eau libre présente dans les pores du béton. La présence de cette eau génère un écartement ou maintien en tension des parois capillaires du béton. On peut évoquer le terme « d'eau tendue ». Elle contribue au maintien de la matrice. Lors de son évaporation, générée par une atmosphère desséchante, ces forces disparaissent. La mise en dépression de cette eau l'invite à sortir des pores du matériau qui la retient (cf. figure 5). Le système « s'effondre ». Le retrait est la représentation visuelle de ce phénomène.

Ce retrait apparait entre la fin du ressuage et de la prise. Il dépend de la vitesse d'évaporation et de l'hygrométrie *(Monge, 2007)*. Il ne faut pas confondre ce phénomène avec le retrait d'auto-dessication (interne) qui correspond à la disparition de l'eau dans les pores due aux réactions d'hydratations du ciment.

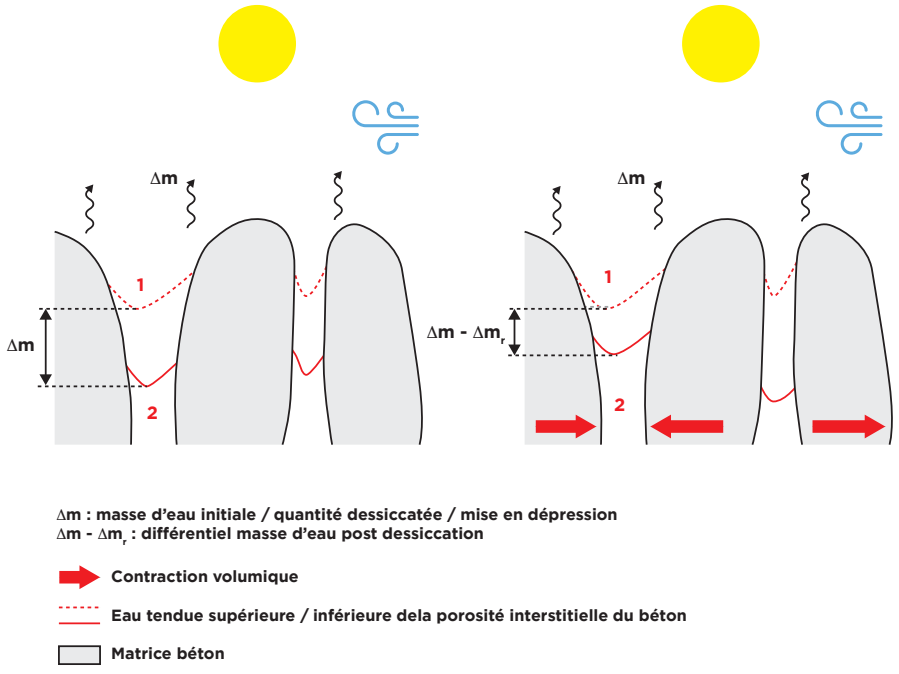


Figure 5 : Illustration du phénomène de retrait de dessiccation par la mise en dépression de l'eau tendue à la suite d'une atmosphère desséchante

Dans les 24ères heures suivant le coulage, un ensemble de mécanismes chimiques et physiques peuvent conduire à de la fissuration. La figure 6 représente l'instant de départ et la durée approximatifs de l'ensemble des types de retraits. La période sur laquelle se porte l'étude, qui est de 0 à 24h, y est figurée. On aperçoit que l'intégralité de la phase plastique est comprise dans la période expérimentale. Les autres mécanismes de retrait y sont également présents sur une partie de l'essai et participent au phénomène.

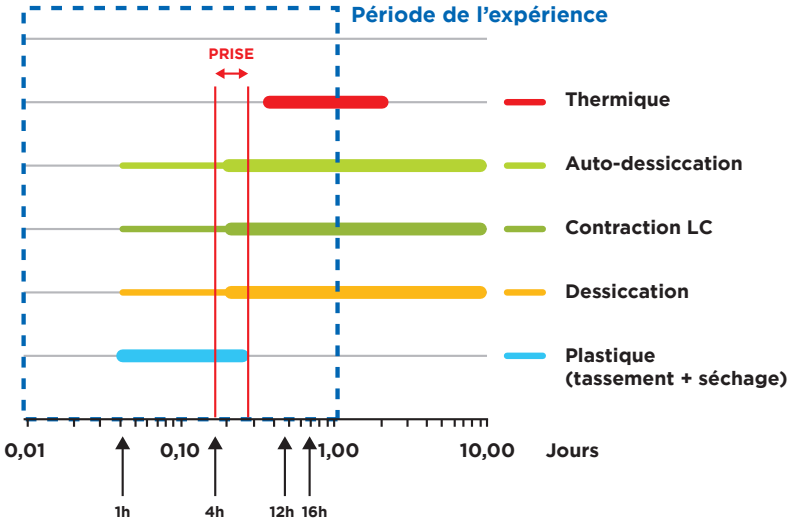


Figure 6 : Représentation schématique des types de retrait dans le temps (Izoret)

I.2 Phénomènes d'étude du banc d'essai

La dessiccation et la prise du ciment sont les principaux mécanismes physico-chimiques qui se déroulent dans cette période. Ils induisent plusieurs phénomènes physiques mesurables : variations de masses, de températures, de volumes et une progression des propriétés mécaniques. Selon leurs cinétiques propres et les contraintes de déformation, une fissuration plus ou moins marquée apparait. Ainsi la mesure de ces quatre mécanismes physiques du retrait permet d'interpréter la fissuration d'un élément donné. L'expérimentation vise à caractériser la fissuration et à évaluer l'influence des paramètres de formulation, des conditions environnementales, des solutions de renforcement anti-fissuration.

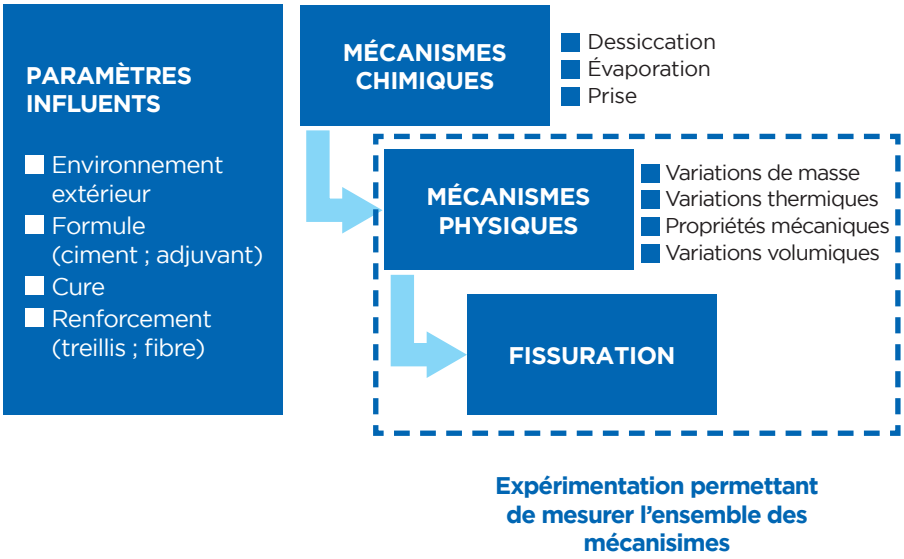


Figure 7 : Synthèse des phénomènes étudiés sur le banc d'essai

II - PRINCIPE DU BANC D'ESSAI

L'essai consiste à reproduire le phénomène de fissuration au jeune âge, à une échelle proche de la réalité. Le banc d'essai « dalle de fissuration » consiste en un bâti d'acier de dimension 1,80 m x 0,90 m sur une hauteur de 12 cm. Un prisme triangulaire central concentre les contraintes induites pendant la prise par des ancrages latéraux. Des prismes triangulaires de faces latérales de plus petites dimensions permettent de favoriser l'apparition d'éventuelles fissures à ces endroits.
La géométrie du banc a été définie afin de permettre la mise en place d'un treillis soudé de type PAF C® de mailles 20 cm x 20 cm. Il permet de positionner le treillis à différentes hauteurs, 1/3 ou 2/3 du fond de moule.

Les essais sont réalisés dans une salle climatique permettant de maitriser les conditions de température et d'hygrométrie. Un tunnel à vent est alimenté par des ventilateurs industriels.

La dalle de fissuration s'inspire d'un essai de fissuration par retrait empêché selon la norme ASTM C1579 ou « Kraai Test » de dimension 59 cm x 36 cm. L'intérêt est de comparer les effets d'échelle et de justifier l'importance des dimensions de l'échantillon dans l'évaluation de la fissuration au jeune âge des éléments (cf. figure 8).

La dalle de fissuration est multi-instrumentée (cf. figure 9). L'objectif est de quantifier la fissuration de l'élément par une mesure d'aire de fissuration et d'identifier les périodes pendant lesquelles les mécanismes se produisent à une échelle plus proche de la réalité. La nature et la fonction de chaque essai sont spécifiées dans le tableau 2.

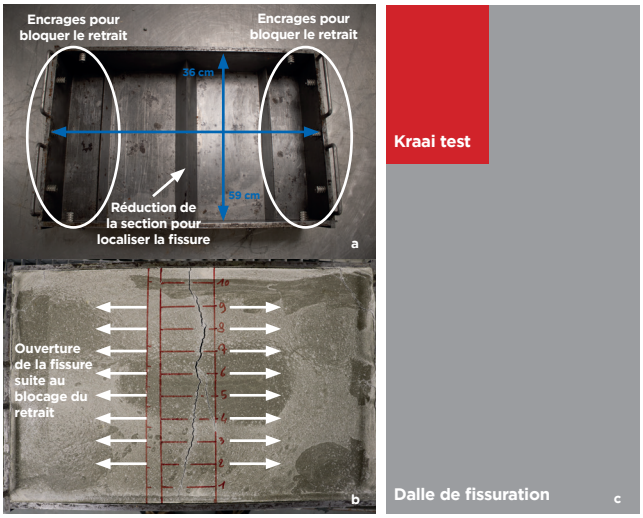


Figure 8 : Kraai test : (a) Moule (b) Corps d'épreuve (c) Rapport de taille entre le moule Kraai test et la dalle de fissuration grande échelle

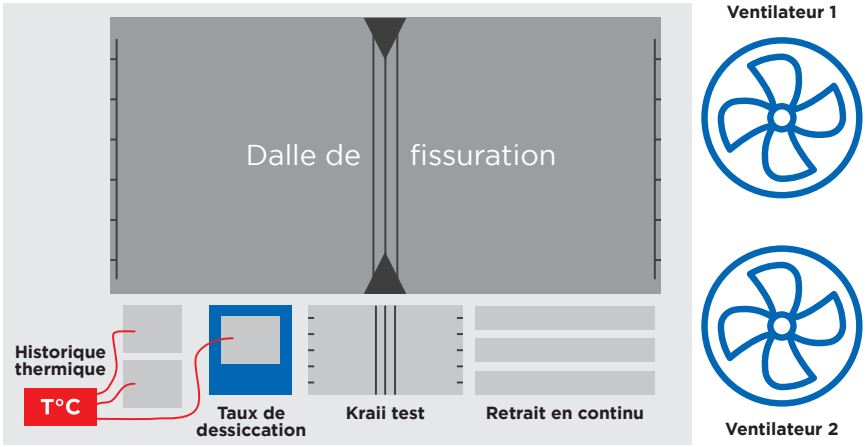
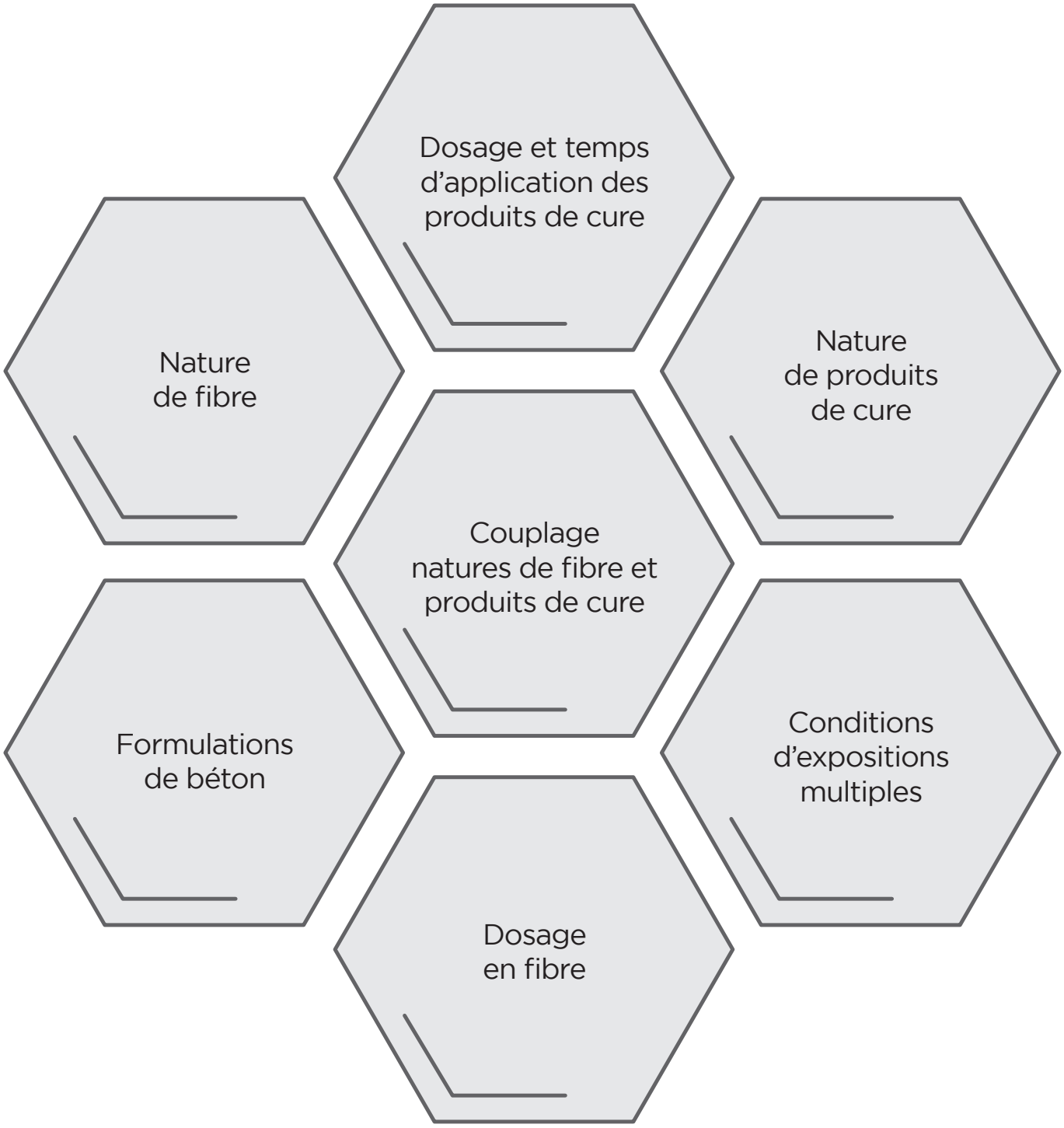


Figure 9 : Banc de test - schéma des essais couplés

Essais	Caractéristiques mesurées et objectifs finaux
Fissuration sur dalle par retrait empêché	Suivi de la fissuration dans le temps par prise de vue Quantifier le développement de fissures sur un élément réel (avec treillis anti-fissuration) Identifier le moment d'apparition de la fissure centrale
Kraai test	Dimension de la fissure à 24h Mesurer la fissuration sur le béton sans treillis. Analyser les effets d'échelles avec la dalle de fissuration
Retrait en continue	Retrait libre en continu Quantifier l'amplitude de retrait qui génère de la fissuration Identifier les périodes critiques pour le développement de fissure
Historique thermique	Signaux thermiques : sans dessiccation, non protégé, curé Identifier la période dormante, la période de prise et la période de forte dessiccation
Taux de dessiccation	Taux de dessiccation dans le temps par perte de masse Evaluer l'impact sur le retrait et la fissuration

Tableau 2 : Synthèse de l'ensemble des essais

PARAMÈTRES POUR LA MAÎTRISE DE LA FISSURATION DE DALLE



TRAVAUX CITÉS

ACI. 2007. *Specification for Hot Weather Concreting (ACI 35.1-06)*. Committee 305, American Concrete Institute. 2007. p. 12, Standardisation. ISBN 978-0-87031-242-7.

Acker, Paul. 1992. *Retrait et fissuration du béton*. Documents Scientifiques et Techniques de l'Association Française pour la Construction (AFPC). 1992. Rapport technique.

Bresson, Alexa. 2006 *Influence de la minéralogie sur le comportement des mortiers de ciment au jeune âge*, Faculté des sciences et de génie, Université Laval, Québec

Bombled, Jean-Paul. 1984. La cure du béton. *Ciments, bétons, plâtres, chaux*. 1984, 746.

Davis, Harmer E. 1940. *Autogenous volume changes of concrete*. ASTM Proceeding 1940 -Vol. 40. Atlantic City, USA : ASTM International, 1940. pp. 1103-1112.

Hua, Chongyue. 1992. *Analyses et modélisations du retrait d'auto dessiccation de la pâte de ciment durcissante*. Matériaux, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. Paris, France : s.n., 1992. Thèse de doctorat.

Izoret, Laurent. *L'influence des ciments et des granulats dans la fissuration.* [Présentation]. Paris, France : s.n.

Le Chatelier, Henri. 1904. *Recherches expérimentales sur la constitution des mortiers hydrauliques*. 2e. Paris : Dunod, 1904.

Lissandre, Laure. 2006. *Analyse de la fissuration des bétons et des techniques de mise en œuvre en vue d'optimiser la réalisation des ouvrages*. Génie Civil, INSA Strasbourg. 2006. p. 70, Projet de fin d'études.

Mbemba-Kiele, Elanga-Poaty. 2010. *Influence du vent et de la cure sur le comportement des bétons au*. Matériaux, Université de Nantes ; Ecole Centrale de Nantes. 2010. p. 164, Thèse de doctorat.

Monge, Joachim. 2007. *Fissuration des mortiers en couches minces - Effets de l'hydratation du séchage et de la carbonatation*. Laboratoire de Mécanique et Technologie, ENS Cachan. 2007. Thèse de doctorat.

Suisse Eole. Calcul du profil des vents. *Toutes les données sur l'Energie éolienne en Suisse*. [En ligne] [Citation : 01 Déc. 2017.] https://wind-data.ch/tools/profile.php?lng=fr.

Tazawa, Ei-ichi and Miyazawa, Shingo. 1995. Influence of cement and admixture on autogenous shrinkage of cement paste. [ed.] Elsevier. *Cement and Concrete Research*. Fév. 1995, Vol.25, 2, pp. 281-287.

Syndicat National des Adjuvants pour Bétons et Mortiers
16 bis, boulevard Jean Jaurès
92110 CLICHY
Tél : 01 44 01 47 01 - synad@unicem.fr

Sigma Béton
4, rue Aristide Bergès
38080 L'ISLE D'ABEAU
Tel : +33 (0)4 74 27 58 80 - sigma.com@vicat.fr