

ETUDE ET COMPARAISON DE FORMULES DE BÉTONS D'OUVRAGE D'ART VIS-À-VIS DE LA RÉACTION SULFATIQUE INTERNE

Frank BESSE, Laetitia BESSETTE, Ludovic CASABIEL,
Thibaut PIANTONI (VICAT)



L'ULTRA-PERFORMANCE
SIGNÉE VICAT

AFGC



Etude et comparaison de formules de bétons d'ouvrage d'art vis-à-vis de la réaction sulfatique interne

Laetitia BESSETTE, VICAT, Ingénieur R&D

Thibaut PIANTONI, BETON VICAT, Directeur Technique Adjoint

Ludovic CASABIEL, VICAT, Directeur Marchés Travaux Publics et Produits Techniques



GC'2017, Cachan 15 mars 2017



ULTIMAT^{UP}

**CIMENT ULTRA-RÉSISTANT
AUX SULFATES**

TUNNELS, OUVRAGES D'ART MASSIFS ET GENIE CIVIL



SOMMAIRE

- ▼ Le développement du ciment **ULTIMAT** 
 - ▼ Chimie intrinsèque optimale et Résistance aux milieux agressifs
 - ▼ Résistance vis-à-vis de la formation d'ettringite différée
- ▼ Les formules béton de référence avec différentes additions
- ▼ Retours sur expériences
 - ▼ Ouvrages d'Art
 - ▼ Ouvrages hydrauliques
 - ▼ Ouvrages nucléaires
- ▼ Perspectives de durabilité et performances

ULTIMAT^{UP} UN CIMENT PREMIUM

Performances mécaniques élevées

Chimie intrinsèque optimale

Résistance aux milieux agressifs

Le développement du ciment **ULTIMAT**^{UP}

▼ Pour lutter contre les problèmes d'apparition différée de l'ettringite, les recommandations de prévention de la Réaction Sulfatique Interne (RSI) conseillent l'utilisation :

- ▼ Ciments à faible exothermie
- ▼ Maîtrise de la composition chimique du béton
- ▼ PM ES : bas C_3A et SO_3



→ Jusqu'à présent : ciments composés d'additions minérales
→ Problèmes d'exploitation

Nécessité de développer un ciment capable de répondre aux exigences techniques et pratiques :

ULTIMAT^{UP}



Chimie Intrinsèque optimale

▼ Teneur en C_3A nulle → **SR0**

ALUMINATES TRICALCIQUES (C_3A)

0%

mesuré par
diffraction

0%

selon Bogue

▼ Teneur en alcalins faible

▼ Na_2O_{eq} moyen = 0,5%

ALCALINS ACTIFS (Na_2O_{eq})

maximum

0,60%

▼ Teneur en sulfates faible

▼ SO_3 moyen = 1,60%

SULFATES (SO_3) VALEURS EN %

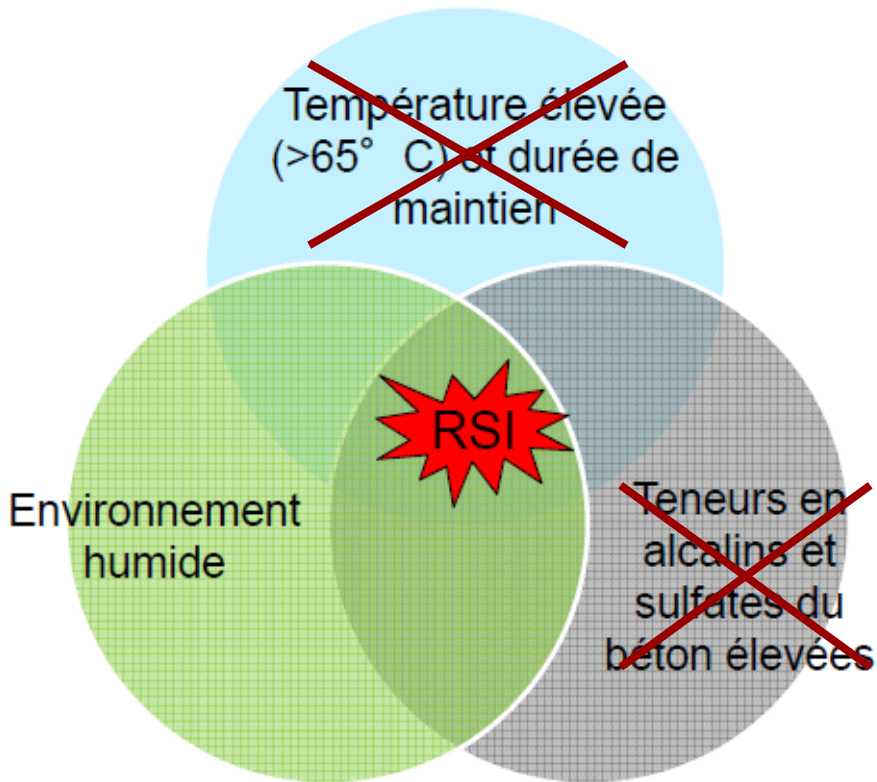


■ CE
■ CE+NF
■ ULTIMAT

~~Gypse~~



LA SOLUTION **ULTIMAT** ^{UP}



CHALEUR D'HYDRATATION À 41 HEURES (SELON EN 196-9)

Q41 moyen < 270 J/g

~~Sulfates + C3A~~

~~T > 55°C~~
~~H₂O~~
~~Na₂O_{eq}~~

~~Ettringite différée~~

- ▼ Résistance aux réactions sulfatiques
- ▼ Compatible aux environnements gel/sels **et** aux pièces massives



Performances mécaniques élevées

CEM I

VS

CEM III

Décoffrage rapide

Début de prise : 185 min

Début de prise : 250 min

52,5

42,5

(Selon EN 196-1)

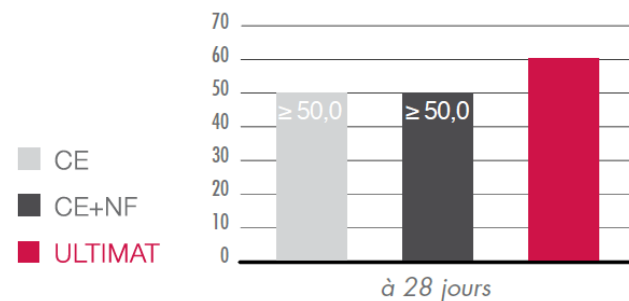
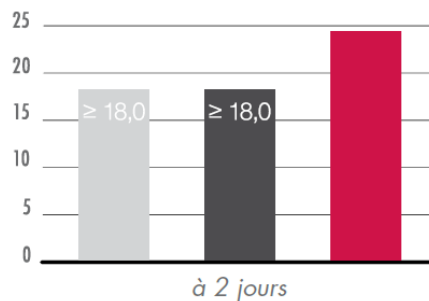
Décoffrage rapide

Début de prise : 180 min

Adaptabilité et Robustesse
pour la formulation

Adaptabilité à des cycles de
coffrage/décoffrage rapides

RÉSISTANCES MÉCANIQUES MESURÉES SUR MORTIER NORMALISÉ (EN MPa)



ULTIMAT^{UP} est un ciment premium :

- ▼ Très résistant aux milieux agressifs



faible chaleur d'hydratation

- ▼ Normalisé et certifié **CEM I 52,5 N SR0 CE PM-CP2 NF**

- ▼ Brevet : Nouveau ciment résistant aux attaques sulfatiques internes et externes - FR2967999 (A1)

- ▼ Aux performances mécaniques

- ▼ A la chimie intrinsèque optimale



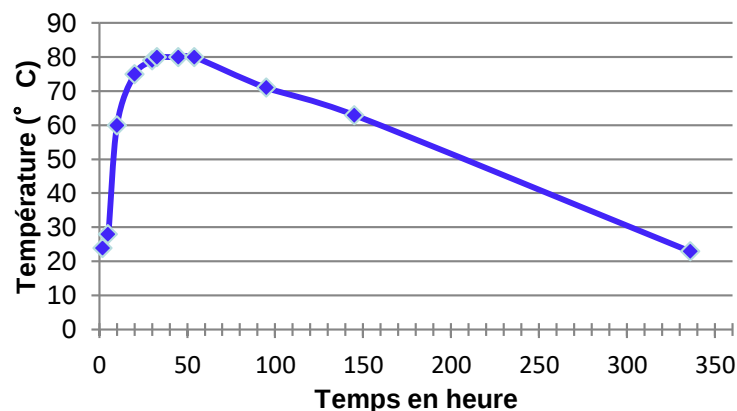
ULTIMAT^{UP} TESTS RSI AVEC ÉLÉVATION DE TEMPÉRATURE

▼ Composition des bétons :

Composition du béton avec ULTIMAT ^{UP} à 424 kg/m ³	
E/C	0,47
Ciment ULTIMAT ^{UP}	424 kg/m ³
Eau totale	201 kg/m ³
Sable Palvadeau 0/4	467 kg/m ³
Gravillons Palvadeau 4/8	195 kg/m ³
Gravillons Palvadeau 8/12	907 kg/m ³
Rc 28 jours	46 MPa

Composition du béton avec ULTIMAT ^{UP} à 370 kg/m ³ C40/50 XC4 XA1 S4	
E/C	0,47
Ciment ULTIMAT ^{UP}	370 kg/m ³
Eau totale	173 kg/m ³
Sable 0/4 RL Val de Saône	772 kg/m ³
Granulat 4/10 MSCL Val de Saône	316 kg/m ³
Granulat 10/20 MSCL Val de Saône	740 kg/m ³
Rc 28 jours	41 MPa

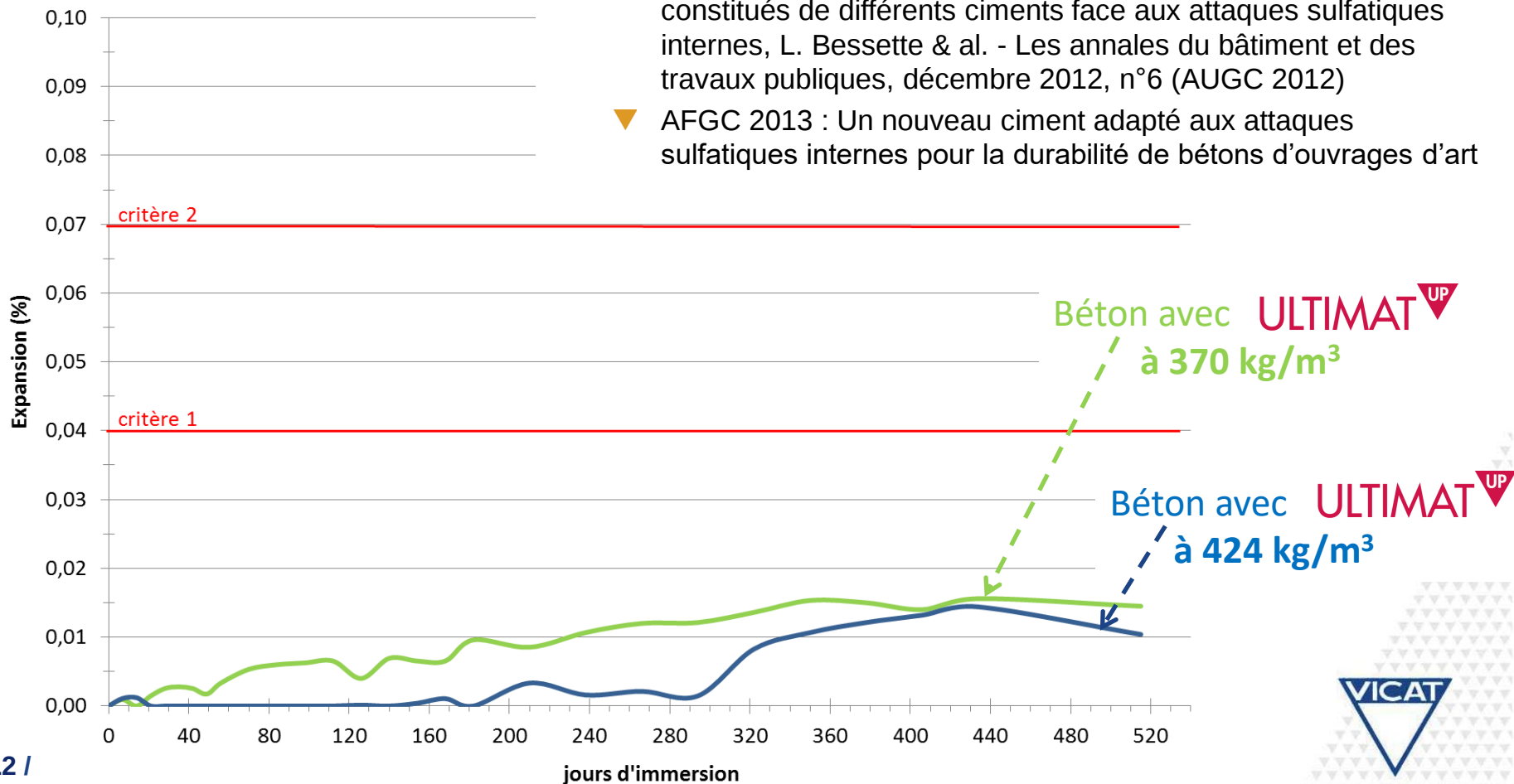
▼ Cycle d'échauffement Plus de 5 jours à T > 60°C



ULTIMAT^{UP} TESTS RSI AVEC ÉLÉVATION DE TEMPÉRATURE

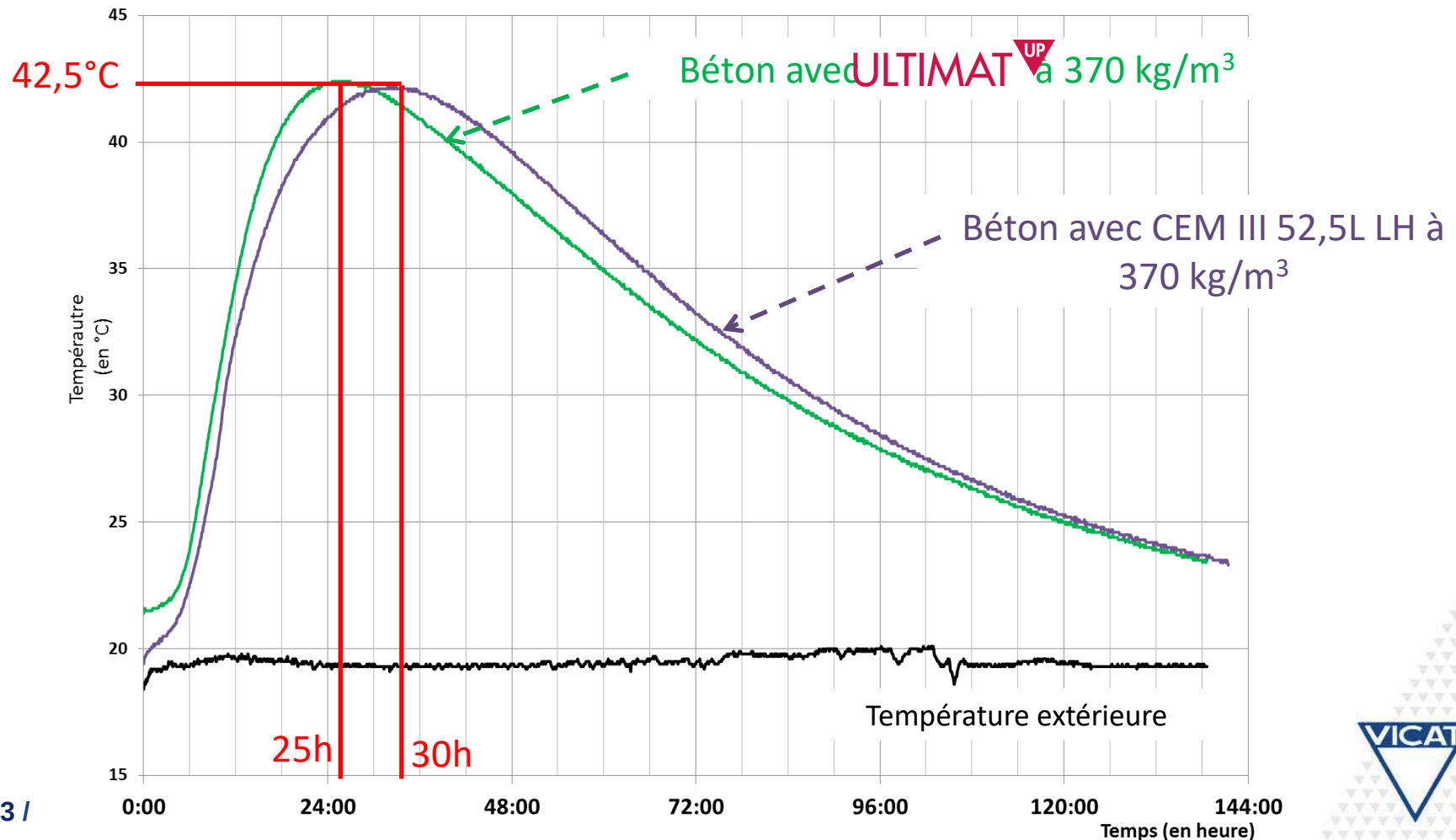
▼ Evolution de l'expansion : ▼ Publications :

- ▼ Comparaison de la durabilité de bétons d'ouvrages d'art constitués de différents ciments face aux attaques sulfatiques internes, L. Bessette & al. - Les annales du bâtiment et des travaux publics, décembre 2012, n°6 (AUGC 2012)
- ▼ AFGC 2013 : Un nouveau ciment adapté aux attaques sulfatiques internes pour la durabilité de bétons d'ouvrages d'art



Evolution de la température en caisson semi-adiabatique

▼ Mesure de température sur éprouvette 15 x 30cm dans caisson adiabatique



Les formules béton de référence avec différentes additions

ULTIMAT^{UP}

**CIMENT ULTRA-RÉSISTANT
AUX SULFATES**

TUNNELS, OUVRAGES D'ART MASSIFS ET GENIE CIVIL



Les formules béton de référence

▼ 8 bétons formulés en **ULTIMAT^{UP}** étudiés et caractérisés

	Béton N1	Béton N2	Béton N3	Béton N4	Béton N5	Béton N6	Béton N7	Béton N8
Type béton	C40 XC4	C40 XC4	C40 XC4	C40 XC4	C40 XC4	C40 XC4	C40 XA2	C35 XF4 G+S
Dosage ciment	350 kg	350 kg	350 kg	315kg	315kg	315kg	300 kg	385 kg
E/C	0,40	0,41	0,41	0,40	0,41	0,42	0,43	0,39
Addition	-	-	-	80 kg Fillers	80 kg Fillers	80 kg Fillers	130 kg cendres	-
Granulats	Type 2	Type 3	Type 4	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Type 5
$\Delta T_{\text{adia calcul}}$	45°C	46°C	46°C	41°C	42°C	42°C	50°C	54°C
$\Delta T_{\text{adia réel sur cube isolé}}$	43°C	44°C	44°C	35°C	-	36°C	36°C	-

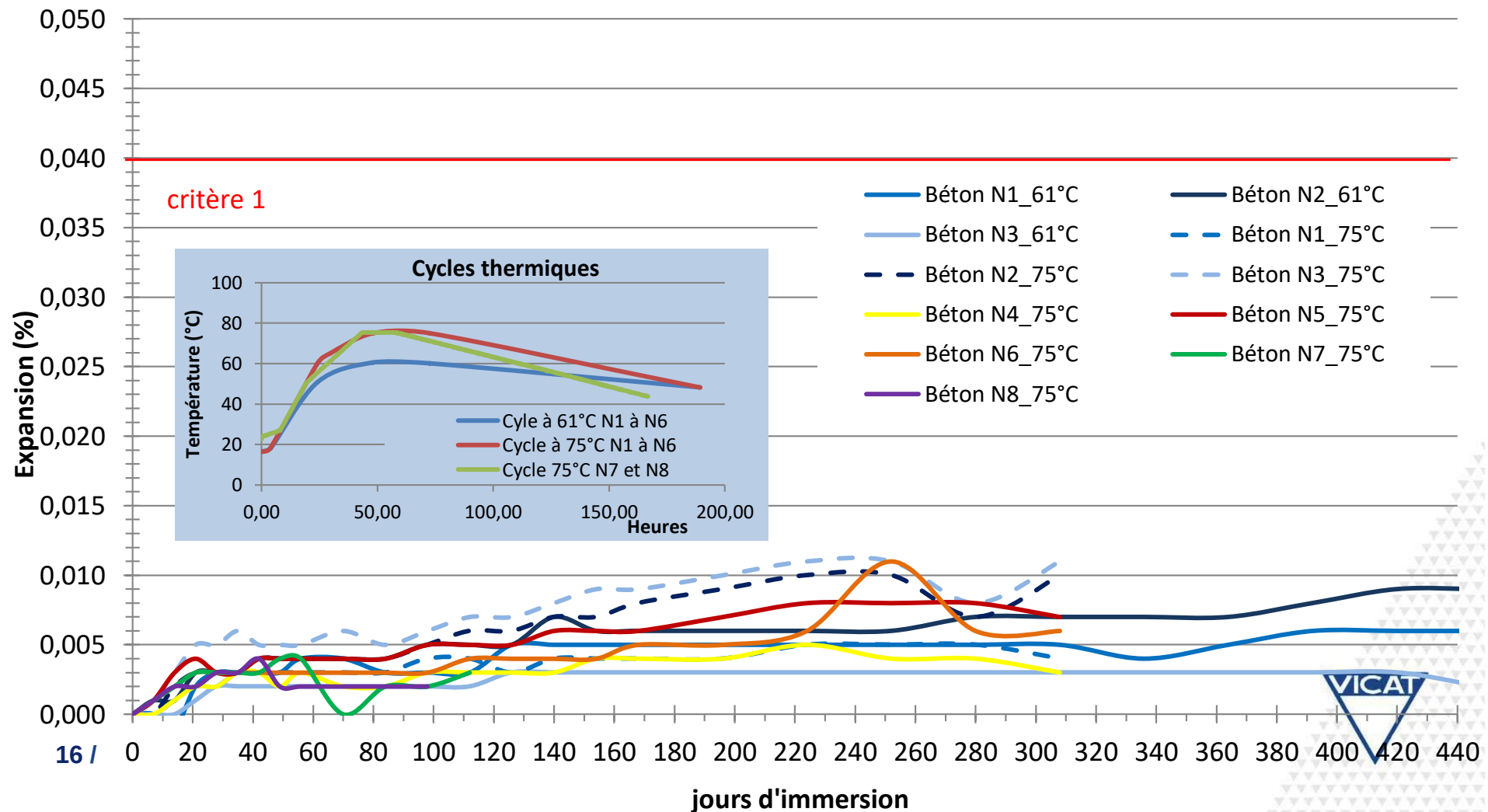
Aucune influence granulats

Calcul discriminant avec additions



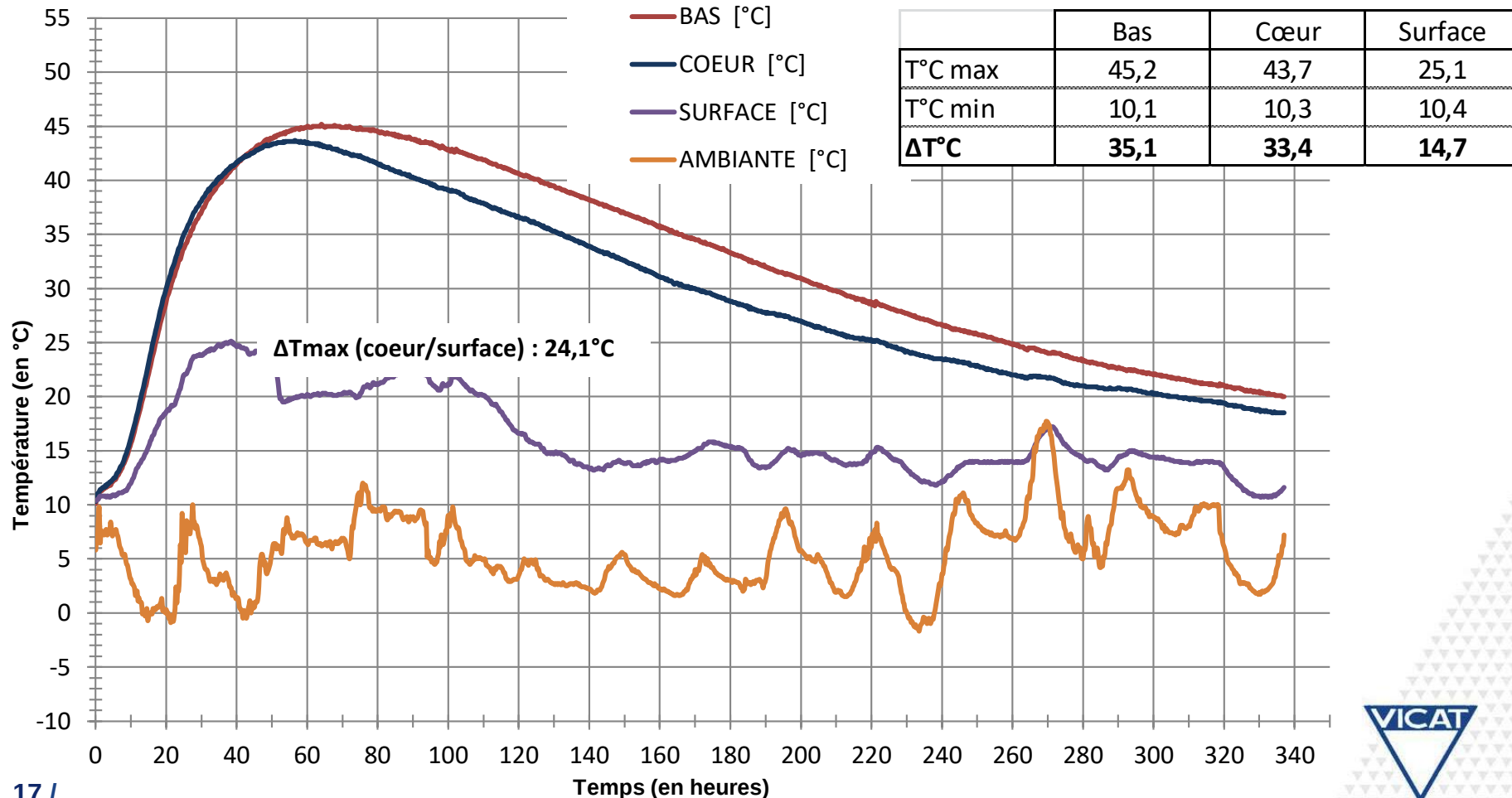
Les formules béton de référence

▼ Résultats essais de performance : cycles thermiques à 61 et 75°C



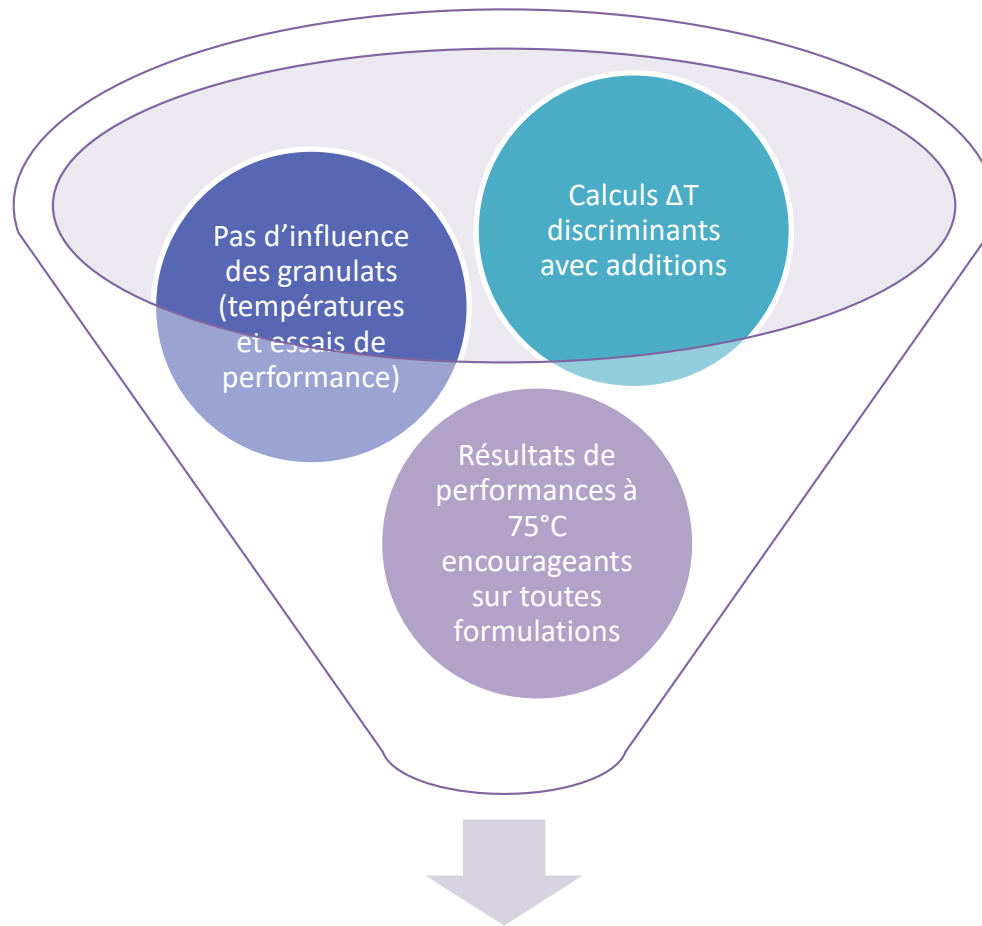
Les formules béton de référence

▼ Suivis thermiques sur radiers d'épaisseur 1,4m - Béton N6



Les formules béton de référence

▼ Bilan



ULTIMAT^{UP} : Une solution technique pour la RSI



ULTIMAT^{UP} RETOURS SUR EXPÉRIENCES

Ouvrages d'Art

Ouvrages hydrauliques

Ouvrages nucléaires

Retours sur expériences

▼ Ouvrages et génie civil : pièces massives

▼ Pont A71 Clermont Ferrand

▼ BPS C35/45 XF4

▼ Remontées mécaniques Moutiers (73)

▼ C30/37 XF3

▼ Réfections d'ouvrages divers (73)

▼ Tunnel de Ponserand

C30/37 XF1

▼ RN 90 Moutiers

C35/45 XF4 G+S



Retours sur expériences

▼ Ouvrages hydrauliques

▼ Barrage de la Coche (73)

▼ C35/45 XF3

▼ C40 XA2 S3 et BAP



Retours sur expériences

▼ Ouvrages nucléaires

- ▼ Radiers Dieuels Ultimes Secours (DUS) avec Vinci Construction et EDF (Bugey, Cruas et Tricastin)
- ▼ BPS C40/50 XC4



ULTIMAT^{UP} Perspectives de durabilité et performances

Perspectives de durabilité et performances

▼ Évolution des recommandations RSI

- ▼ Niveau de prévention Ds assuré avec l'utilisation d'formulations, même à 75 ° C

ULTIMAT^{UP} pour toutes les

▼ Avantages du CEM I et bonne durabilité RSI

- ▼ Exécution chantier améliorée
- ▼ Performances assurées
- ▼ Durabilité renforcée
- ▼ Maintenance limitée



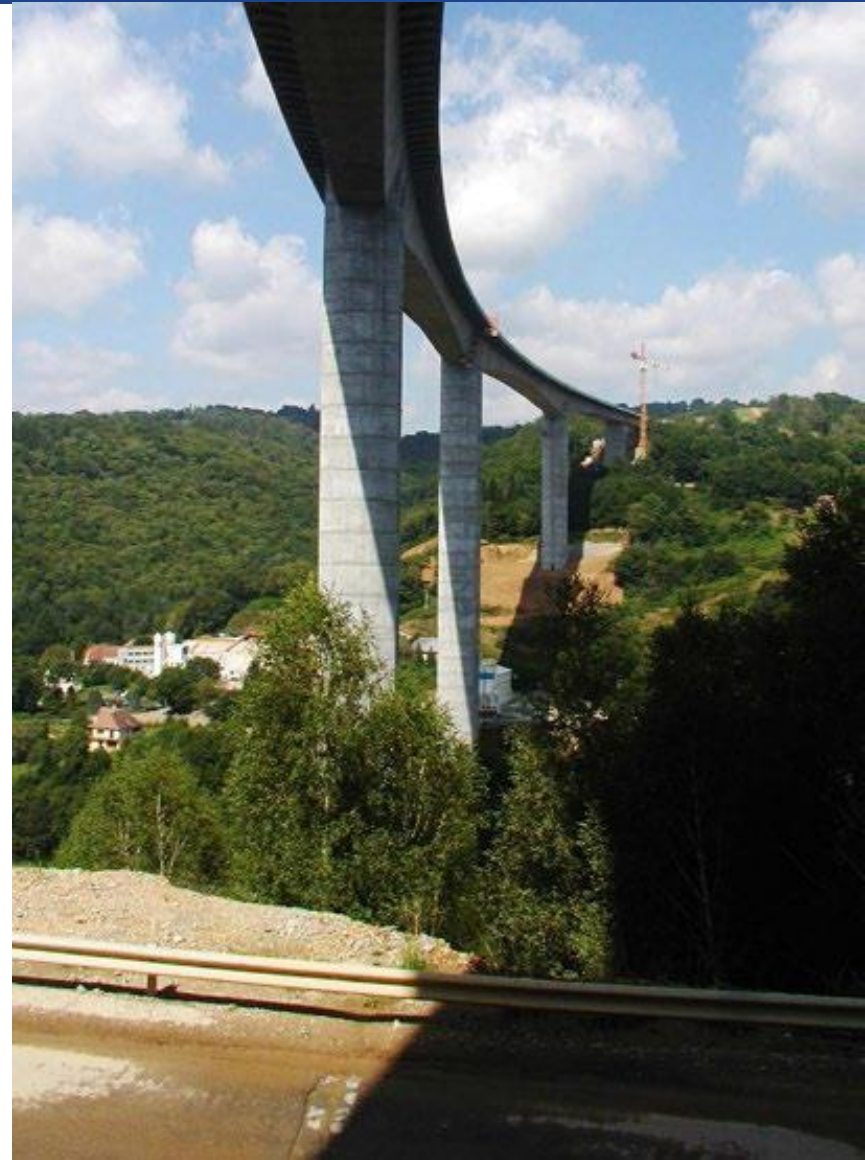
Perspectives de durabilité et performances

- ▼ Valorisation des granulats potentiellement réactifs ou des matériaux excavés
- ▼ Projet TELT
- ▼ Recyclage des bétons
- ▼ Conditionnement de déchets dangereux ou nucléaires



L'impact d'ULTIMAT^{UP}

- ▼ Le seul ciment SR0 sur le marché français
- ▼ Pratique et durable
- ▼ Pérenne
- ▼ Une manière plus sûre d'aborder les pathologies des bétons



MERCI DE VOTRE ATTENTION

ULTIMAT^{UP}



L'ULTRA-PERFORMANCE
SIGNÉE VICAT

