

ASQUAPRO

● Association pour la QUALité de la
PROjection des mortiers et bétons

*RENFORCEMENT D'UNE BUSE METALLIQUE
PAR COQUE TRES MINCE EN BETON DE FIBRES METALLIQUES
PROJETE*

Alain Maguet

ASQUAPRO

● Association pour la QUALité de la
PROjection des mortiers et bétons

Le contexte



Ouvrages dimensionnés et réalisés pour assurer le franchissement hydraulique sous les réseaux routiers

ASQUAPRO

ASsociation pour la QUALité de la PROjection des mortiers et bétons

Villeurbanne, 28 octobre 2010

2

Le contexte

- Causes d'endommagement :



- à la pose
- mouvement du terrain d'assise
- corrosion

ASQUAPRO

ASsociation pour la QUALité de la
PROjection des mortiers et bétons

Villeurbanne, 28 octobre 2010

3

Le contexte

- Document guide du SETRA



BUSES METALLIQUES

Guide pour la surveillance
spécialisée l'entretien et la
réparation

Décembre 1992

ASQUAPRO

ASsociation pour la QUALité de la
PROjection des mortiers et bétons

Villeurbanne, 28 octobre 2010

Le contexte

- Document guide du SETRA



Différentes méthodes sont exposées dans ce document :

- Interventions localisées
 - ✓ Ajouts de tôles
- Confection de radier
- Tubage
- Chemisage
 - ✓ Béton armé coulé
 - ✓ Béton projeté

ASQUAPRO

ASsociation pour la QUALité de la
PROjection des mortiers et bétons

Villeurbanne, 28 octobre 2010

5

Le contexte

- Document guide du SETRA



Pour les chemisages, les règles de dimensionnement conduisent à modifier le mode de fonctionnement de l'ouvrage :

Passage de la souplesse à la raideur

ASQUAPRO

ASsociation pour la QUALité de la PROjection des mortiers et bétons

Villeurbanne, 28 octobre 2010

6

Présentation de l'étude



- Pourtant il est possible de réaliser des coques minces ayant un comportement comparable à celui des ouvrages métalliques.
- L'étude conduite dans le cadre du projet BEFIM vise à comparer le fonctionnement et la résistance de buses métalliques et de coques minces en béton projeté fibré.
- Pour des ouvrages ne souffrant pas de problème structurel mais simplement d'une corrosion.

ASQUAPRO

ASsociation pour la QUALité de la
PROjection des mortiers et bétons

Villeurbanne, 28 octobre 2010

Présentation de l'étude



Programme de l'étude réalisée en 3 phases :

- une partie théorique
- essais sur des éléments plans
- essais grandeur nature

ASQUAPRO

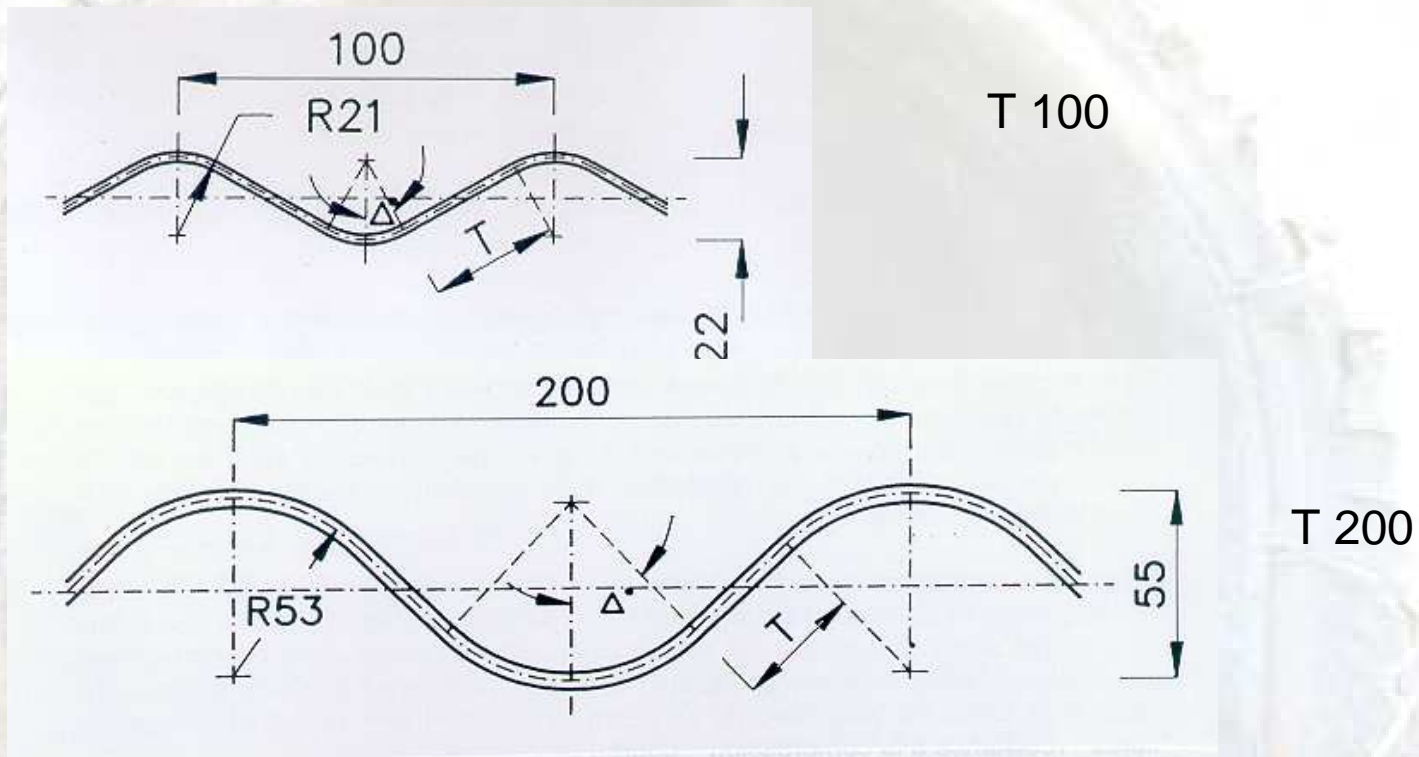
ASsociation pour la QUALité de la
PROjection des mortiers et bétons

Villeurbanne, 28 octobre 2010

Présentation de l'étude

Etude théorique :

- dimensionnement conduit uniquement en flexion simple



ASQUAPRO

● ASsociation pour la QUALité de la
PROjection des mortiers et bétons

Villeurbanne, 28 octobre 2010

9

Présentation de l'étude

Etude théorique :

Le moment résultant ultime de chaque buse est calculé en supposant que la limite élastique est atteinte sur chaque fibre extrême, en flexion.

L'acier de base étant de nuance S 235 les moments résultants ultimes sont donc égaux à :

$$M_R = \frac{2 I \sigma_e}{h}$$

avec I = Inertie de flexion de la plaque
 σ_e = limite élastique de l'acier
 h = amplitude des ondulations

T100 $M_R = 396 \text{ daNm/m}$

T200 $M_R = 2\,159 \text{ daNm/m}$

ASQUAPRO

ASsociation pour la QUALité de la
PROjection des mortiers et bétons

Villeurbanne, 28 octobre 2010

10

Présentation de l'étude

Etude théorique

- Pour les vérifications à l'ELS, on considère un moment conventionnel

$$M_S = \frac{M_R}{1,35}$$

- T100 MS = 293 daNm/m
- T200 MS = 1 600 daNm/m

ASQUAPRO

ASsociation pour la QUALité de la
PROjection des mortiers et bétons

Villeurbanne, 28 octobre 2010

11

Présentation de l'étude

Etude théorique

- Prise en compte des caractéristiques du béton fibré conformément aux recommandations AFREM
- Loi contrainte / ouverture de fissure
- Deux états limites :
 - ✓ ELS ouverture de fissure 0,1 mm (fissuration très préjudiciable)
 - ✓ ELU capacité de résistance de la section pour une ouverture de fissure égale au centième de la hauteur

Présentation de l'étude

Etude théorique:

- Le principe du dimensionnement consiste à vérifier 3 points :
 - La non-fragilité de la section
 - l'état limite de service
 - l'état limite ultime

Le béton projeté est pris pour un B 30 avec $F_t = 2,4 \text{ MPa}$

ASQUAPRO

ASsociation pour la QUALité de la
PROjection des mortiers et bétons

Villeurbanne, 28 octobre 2010

13

Présentation de l'étude

Etude théorique:

	BUSE T 100 Ms = 293 daNm/m Mu = 396 daNm/m	BUSE T 200 Ms = 1 600 daNm/m Mu = 2 159 daNm/m
FIBRAFLEX 35 kg/m ³	E.L.S e = 7 cm E.L.U e = 8 cm Mr _u # 387 daNm/m Non fragilité vérifiée	E.L.S e = 15 cm E.L.U pas de solution
DRAMIX 30 kg/m ³	E.L.S e = 9 cm E.L.U e = 11 cm Mr _u # 396 daNm/m Non fragilité vérifiée	E.L.S e = 21 cm E.L.U pas de solution
DRAMIX 50 kg/m ³	E.L.S e = 8 cm E.L.U e = 9 cm Mr _u # 392 daNm/m Non fragilité vérifiée	E.L.S e = 18 cm E.L.U e = 22 cm Mr _u # 2 170 daNm/m Non fragilité vérifiée

ASQUAPRO

ASsociation pour la QUALité de la
PROjection des mortiers et bétons

Villeurbanne, 28 octobre 2010

14

Présentation de l'étude

Essais sur éléments plans :

Ces essais ont été réalisés afin de valider les calculs théoriques ci-avant.

1- Caractéristiques des corps d'essais

Quinze corps d'épreuve ont été fabriqués.

La projection a été effectuée dans des moules dont le fond était constitué par l'une ou l'autre des tôles de base (T100 ou T200).

Les dimensions en plan des moules étaient de 0,94 m x 0,40 m pour la buse T100 et 1,41 m x 0,40 m pour la buse T200.

ASQUAPRO

● ASsociation pour la QUALité de la
PROjection des mortiers et bétons

Villeurbanne, 28 octobre 2010

15

Présentation de l'étude

Essais sur éléments plans:

- en faisant varier les paramètres suivants :
 - épaisseur du béton
 - nature des fibres
 - dosage en fibres
- La projection a été faite :
 - par voie mouillée (Pompe PUTZMEISTER P11) pour le béton de fibres métalliques FIBRAFLEX
 - par voie sèche avec prémouillage (machine PICCOLA 020) pour les bétons de fibres métalliques DRAMIX.
- Deux produits :
 - un produit formulé par la PIERRE-LIQUIDE avec fibres FIBRAFLEX FF 20L dosées à 35 kg/m³.
 - un mélange prêt à l'emploi V.P.I S 533 (VICAT) avec ajout de fibres DRAMIX ZC 30/50 à raison de 50 kg/m³.

ASQUAPRO

ASsociation pour la QUALité de la
PROjection des mortiers et bétons

Villeurbanne, 28 octobre 2010

16

Présentation de l'étude

Plaque de base	Fibres	Dosage initiale	Epaisseur moyenne de projection	Type de projection	Dosage de fibres en place	Fc 28
T 100	FIBRAFLEX FF 20 L	35 kg/m ³	8 cm	Humide	35 kg/m ³	37,2 MPa
	DRAMIX ZX 30/50	50 kg/m ³	9 cm	Sèche	38 kg/m ³	50,7 MPa
	Sans	/	9 cm	Sèche	/	45 MPa
T 200	DRAMIX ZX 30/50	50 kg/m ³	14,2 cm	Sèche	38 kg/m ³	50,7 MPa
	Sans	/	14,2 cm	Sèche	/	45 MPa

ASQUAPRO

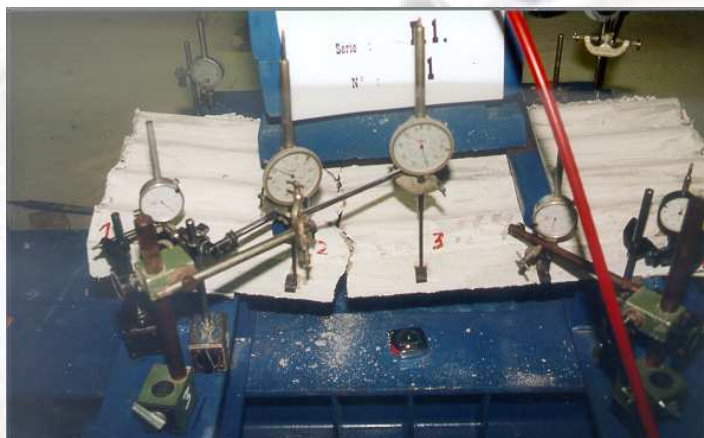
ASsociation pour la QUALité de la PROjection des mortiers et bétons

Villeurbanne, 28 octobre 2010

17

Présentation de l'étude

Essais sur éléments plans:



CEBTP pour caractériser les charges de rupture



ENTPE pour suivre les états de contraintes et les déformations avant et après fissuration

ASQUAPRO

ASsociation pour la QUALité de la
PROjection des mortiers et bétons

Villeurbanne, 28 octobre 2010

18

Présentation de l'étude

Essais sur éléments plans:

-Pour la buse T100, les résistances maximales à rupture obtenues (essais CEBTP) sont supérieures aux valeurs calculées ainsi qu'à la résistance effective de la tôle.

	Tôle seule	FIBRAFLEX e = 8 cm		DRAMIX e = 9 cm	
		Théorique	Moyenne d'essais	Théorique	Moyenne d'essais
T 100	396 daNm/m				
		396 daNm/m	403 daNm/m	392 daNm/m	637 daNm/m

ASQUAPRO

ASsociation pour la QUALité de la
PROjection des mortiers et bétons

Villeurbanne, 28 octobre 2010

19

Présentation de l'étude

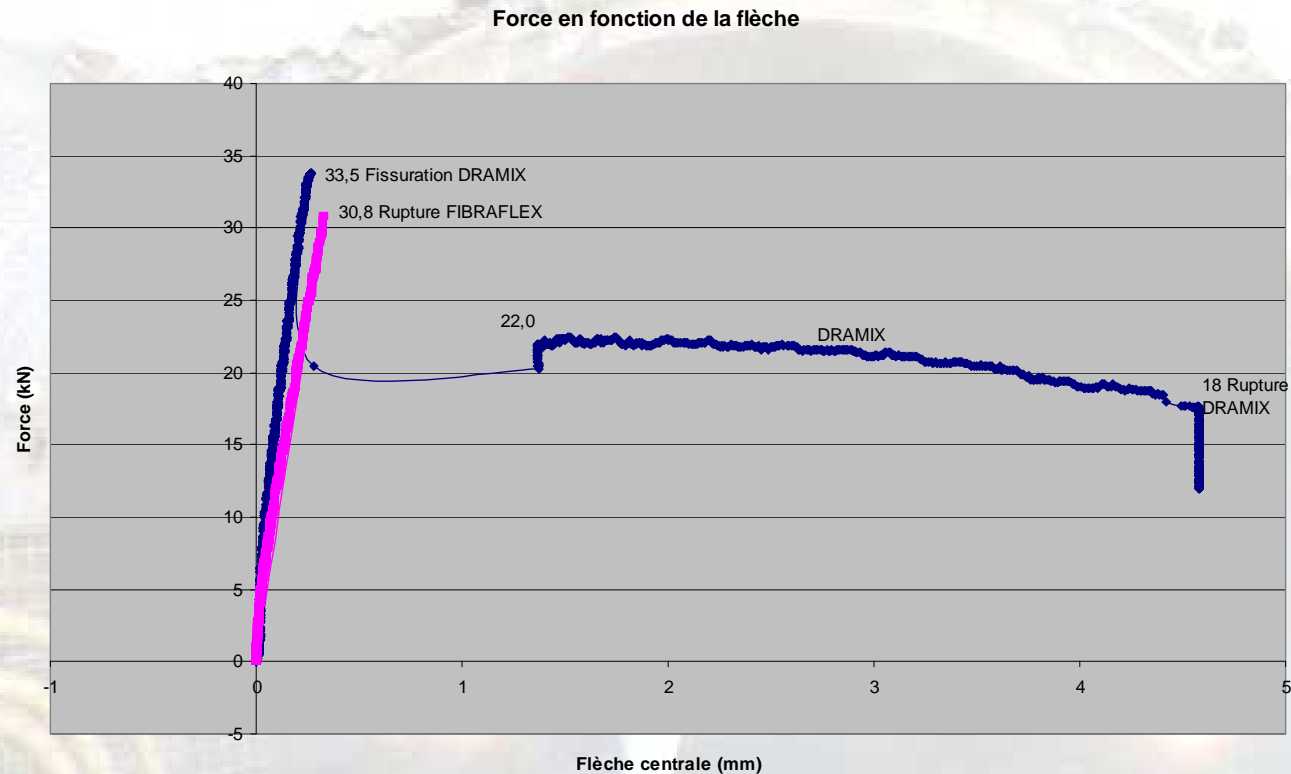
Essais sur éléments plans:

-Pour la buse T 200, les valeurs obtenues sont inférieures aux valeurs calculées mais une correction doit être appliquée pour tenir compte de l'épaisseur effective de béton projeté.

	Tôle seule	dramix		
T 200	2159 daNm/m	Théorique e = 22 cm	Moyenne essais e = 14,2 cm	Expérimentale corrigée e = 22 cm
		2 170 daNm/m	1 457 daNm/m	2 214 daNm/m

Présentation de l'étude

Essais sur éléments plans:



Fibres fibraflex rupture fragile

Fibres dramix palier post-fissuration

ASQUAPRO

ASsociation pour la QUALité de la
PROjection des mortiers et bétons

Villeurbanne, 28 octobre 2010

21

Présentation de l'étude

Essais sur éléments plans :

Conclusions de ces essais :

Le dimensionnement théorique est confirmé par les essais.

Le mode de rupture nous conduit à retenir la fibre Dramix pour l'essai sur ouvrage réel.

ASQUAPRO



ASsociation pour la QUALité de la
PROjection des mortiers et bétons

Villeurbanne, 28 octobre 2010

22

Présentation de l'étude

Essais sur ouvrage :



- Vérifier le fonctionnement effectif d'une coque dans sa configuration réelle (compression flexion)
- Rayon : 1,55 m
- Longueur : 4 anneaux éléments T 100
- Coque : épaisseur 6 cm théorique en béton fibré
- Fibre dramix ZC 30/50 à raison de 50 kg/m³
- Projection par voie sèche avec pré-humidification du mélange

ASQUAPRO

ASsociation pour la QUALité de la
PROjection des mortiers et bétons

Villeurbanne, 28 octobre 2010

23

Présentation de l'étude

Essais sur ouvrage :

Aspect interface tôle/béton projeté fibré



ASQUAPRO

● ASsociation pour la QUALité de la
PROjection des mortiers et bétons

Villeurbanne, 28 octobre 2010

24

Présentation de l'étude

Essais sur ouvrage :

Dispositif d'essais



En clé : dispositif de chargement

Butée du terrain matérialisée par deux lignes de tiges filetées

Nombre et diamètre dimensionnés pour avoir un essai représentatif du comportement de la coque mince

ASQUAPRO

ASsociation pour la QUALité de la
PROjection des mortiers et bétons

Villeurbanne, 28 octobre 2010

25

Présentation de l'étude

Essais sur ouvrage :



Étude théorique préalable

-Ouvrage métallique modélisé dans les mêmes conditions que la coque mince en béton fibré

-application de charges d'intensité croissante en clé de voûte jusqu'à obtention d'une contrainte maxi dans la tôle de $\sigma_e = 235 \text{ MPa}$

-même hypothèse pour la coque jusqu'au critère de non-fragilité

ASQUAPRO

ASsociation pour la QUALité de la PROjection des mortiers et bétons

Villeurbanne, 28 octobre 2010

26

Présentation de l'étude

Essais sur ouvrage :

-Résultats du calcul

TYPE D'OUVRAGE	CRITERE DE CALCUL	CHARGE DE CALCUL
BUSE METALLIQUE DE REFERENCE	RESISTANCE ULTIME (δe)	# 25 350 daN (2555 daN/m ²)
COQUE MINCE EN BETON PROJETE	NON FRAGILITE	# 8 350 daN (841 daN/m ²)

ASQUAPRO

ASsociation pour la QUALité de la
PROjection des mortiers et bétons

Villeurbanne, 28 octobre 2010

27

Présentation de l'étude

Essais sur ouvrage :

- chargement de la coque



-Essai réalisé en faisant varier la charge par paliers de 1000 daN jusqu'à 11 000 daN soit 30% de plus que la charge du critère de non fragilité

-stabilisation de la charge pendant 15 h

-déchargement et remise en charge rapidement à la valeur précédente

-ensuite chargement par paliers de 1800 daN jusqu'à la ruine

ASQUAPRO

ASsociation pour la QUALité de la
PROjection des mortiers et bétons

Villeurbanne, 28 octobre 2010

28

Présentation de l'étude

Essais sur ouvrage :

-Résultats



-Jusqu'à la valeur de 11 000 daN :
comportement élastique

-pas de fluage sous charge

-déchargement et rechargement :
mouvement parfaitement réversible

-Premiers craquements perceptibles à
20 000 daN (loi effort-déformation
pratiquement linéaire)

-Premières fissures visibles à 26 800 daN

-ruine pour 32 500 daN

ASQUAPRO

ASsociation pour la QUALité de la
PROjection des mortiers et bétons

Villeurbanne, 28 octobre 2010

29

Présentation de l'étude

Essais sur ouvrage :

-Conclusions



-L'étude théorique et les essais montrent la validité du concept de substitution tôle/coque.

-l'essai sur un ouvrage réel confirme que le concept offre une résistance supérieure à celle de l'ouvrage métallique.

-confirmation de la conservation du critère de souplesse pour la coque en béton fibré.

ASQUAPRO

ASsociation pour la QUALité de la
PROjection des mortiers et bétons

Villeurbanne, 28 octobre 2010

30

Présentation de l'étude

Essais sur ouvrage :

Précautions



-Ce concept n'est adapté qu'aux ouvrages faiblement déformés.

-Il nécessite une parfaite maîtrise de la mise en œuvre du béton fibré par projection.

-Il est impératif de faire une épreuve de convenance.

-Il faut retenir des fibres qui offre un comportement en résistance après le pic de fissuration.

ASQUAPRO

ASsociation pour la QUALité de la
PROjection des mortiers et bétons

Villeurbanne, 28 octobre 2010

31

ASQUAPRO

● Association pour la QUALité de la PROjection des mortiers et bétons

Quelques questions ?