



UNE EXPERTISE QUI FAIT LA DIFFÉRENCE

**OCTOBRE 2014**

**Dossier : CNI7.E.152**

DIR Méditerranée

## **INVESTIGATION SUR LE BETON DE L'OUVRAGE**

### **RN94 - PONT DE FONTAINE - CRETET**

#### **Briançon (05)**



#### **GINGER CEBTP**

Siège social : 12 avenue Gay Lussac - ZAC LA CLEF SAINT PIERRE - 78990 ELANCOURT - Tél. 01 30 85 24 00  
S.A.S. au capital de 2 597 660 € - RCS Versailles B 412 442 519 - SIREN 412 442 519 - Code APE 742 C - N° TVA FR 31 412 442 519  
Email : [info@groupe-cebtp.com](mailto:info@groupe-cebtp.com) - Site internet : [www.groupe-cebtp.com](http://www.groupe-cebtp.com)  
Qualité OPQIBI sous le n° 81 05 0433 - Organisme certificateur déclaré auprès du Ministère chargé de l'Industrie





DIR MEDITERRANEE

**RN94 - PONT DE FONTAINE - CRETET**

Briançon (05)

INVESTIGATION SUR LE BETON DE L'OUVRAGE

Dossier : CNI7.E.152			Rapport : 01			Contrat : CNI7.E.0146	
Indice	Date	Chargé d'affaire	Visa	Vérifié par	Visa	Contenu	Observations
A	22/10/14	Gilles MAUREL		Frédéric GERENTE		26 pages	
B							

Sauf autorisation préalable, ce rapport n'est utilisable, à des fins commerciales ou publicitaires, qu'en reproduction intégrale. A compter du paiement intégral de la mission, le client devient libre d'utiliser le rapport et de le diffuser à condition de respecter et de faire respecter les limites d'utilisation des résultats qui y figurent et notamment les conditions de validité et d'application du rapport. Les résultats obtenus ne sont pas généralisables sans justification de la représentativité des échantillons et des essais. Sauf demande expresse, les échantillons ne seront pas conservés après l'envoi du rapport d'essais

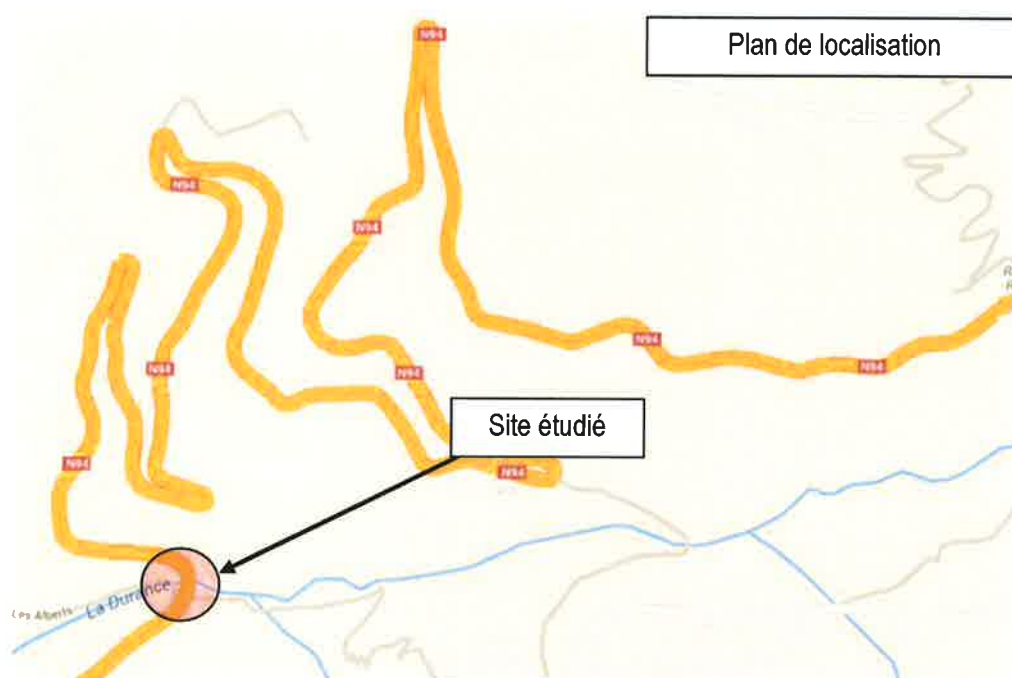
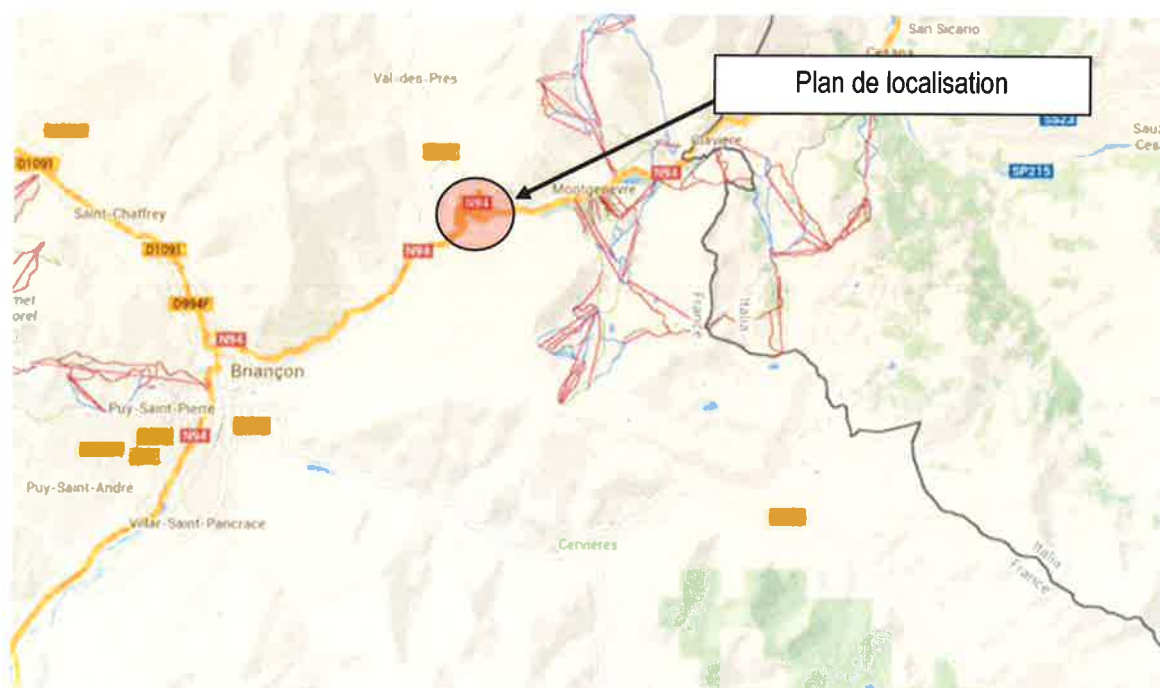
# SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>PLAN DE SITUATION</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>CONTEXTE DE LA MISSION</b>	<b>6</b>
2.1	DONNEE GENERALES	6
2.2	MISSION DE GINGER CEBTP	6
2.2.1	Programme des investigations sur site après adaptation	7
2.2.2	Programme des analyses en laboratoires après adaptation	8
<b>3</b>	<b>INVESTIGATIONS SUR SITE</b>	<b>8</b>
3.1	IMPLANTATION ET RECONNAISSANCE DES ESSAIS ET MESURES	8
3.2	METHODOLOGIE RADAR HF	11
3.3	RESULTATS DES SONDAGES	12
3.3.1	Poutre P1	12
3.3.2	Voute sous la poutre P5	14
3.3.3	Nerlat	15
3.4	COMMENTAIRES	15
<b>4</b>	<b>DETERMINATION DE LA PROFONDEUR DE CARBONATATION</b>	<b>16</b>
4.1	MODALITES OPERATOIRES	16
4.2	RESULTATS	17
<b>5</b>	<b>MESURE DE L'ACTIVITE CORROSIVE AU NIVEAU DE LA POUTRE P5</b>	<b>17</b>
5.1	PRINCIPES	17
5.2	MATERIEL	18
5.3	RESULTATS	19
<b>6</b>	<b>ANALYSES AU LABORATOIRE</b>	<b>20</b>
6.1	DETERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE	20
6.2	DETERMINATION DE LA RESISTANCE EN COMPRESSION	21
6.3	DETERMINATION DE LA TENEUR EN CIMENT DES POUDRES	23
6.3.1	Calcul de la teneur en SiO <sub>2</sub>	23

6.3.2	Calcul de la teneur en ciment .....	23
<b>6.4</b>	<b>DETERMINATION DES TENEURS EN CHLORURES LIBRE.....</b>	<b>24</b>
6.4.1	Modalités opératoires.....	24
6.4.2	Expression des résultats.....	24
6.4.3	Commentaires .....	24
<b>7</b>	<b>COMMENTAIRES .....</b>	<b>25</b>
<b>8</b>	<b>SYNTHESE .....</b>	<b>25</b>
<b>9</b>	<b>PRECONISATIONS.....</b>	<b>26</b>

## 1 PLAN DE SITUATION

Le site concerné par la mission se situe sur la RN94 entre Briançon et Montgenèvre.  
La vue du site est définie ci-dessous :



## 2 CONTEXTE DE LA MISSION

---

### 2.1 DONNEE GENERALES

La mission de GINGER CEBTP AGENCE DE NICE a été réalisée au mois d'août 2014 suite à un appel d'offre réalisé par la DIR Méditerranée.

**Nom de l'opération :** INVESTIGATION SUR LE BETON DE L'OUVRAGE

**Localisation / adresse :** RN94 - Pont de Fontaine - Cretet

**Commune :** Briançon (05)

**Demandeur de la mission :** *DIR MEDITERRANEE*

**Client :** *DIR MEDITERRANEE*

### 2.2 MISSION DE GINGER CEBTP

La mission de GINGER CEBTP est conforme au contrat n° CNI7.E.0146 ainsi qu'à son réajustement avec la validation de la DIR Méditerranée. Il s'agit d'une mission d'investigation sur un ouvrage d'art dans le but de proposer des solutions réparatoires.

Les investigations sur site ont été réalisées durant la troisième semaine du mois d'août.

Les investigations ont été réalisées par le service Structure et Pathologie des matériaux de l'agence du CEBTP de Nice. Les personnes affectées à cette mission étaient:

- F. GERENTE
- M. TESTA

### 2.2.1 Programme des investigations sur site après adaptation

La mission sur site comprend, conformément au contrat, les prestations suivantes :

- **Examen visuel des désordres et relevés:** Positionnement des zones comportant des altérations de types éclats béton, aciers corrodés, fissures,
- **Positionnement des zones d'études, en fonction de l'examen visuel,**
- **Caractérisation partielle des armatures des façades :** à l'aide d'appareils de détection (type radar Haute Fréquence et ferroskan),
- **Détermination de l'activité corrosive des armatures de la poutre de rive aval, à l'aide d'un appareil type GALVAPULSE,**
- **Prélèvements d'échantillons d'enduit et de béton,** par carottage pour analyse en laboratoire,
- **Détermination du front de carbonatation in-situ,** réalisé au niveau des mini-sondages pour vérifier l'épaisseur de béton atteinte par la pénétration du CO<sub>2</sub>,
- **Prélèvement de poudres de béton à plusieurs profondeurs,** afin de vérifier en laboratoire la teneur en agents pathogènes (ions chlorures pouvant être issus des sels de déverglaçage).

### 2.2.2 Programme des analyses en laboratoires après adaptation

Les prélèvements sur site ont fait l'objet d'analyses en laboratoire :

- Détermination de la résistance en compression du béton
- Détermination de la teneur en chlorures libres au niveau des poudres de béton
- Détermination du dosage en ciment du béton
- Détermination de la masse volumique et de la porosité.

Les investigations ont été menées sur 4 zones, l'implantation de ces dernières est donnée au chapitre suivant :

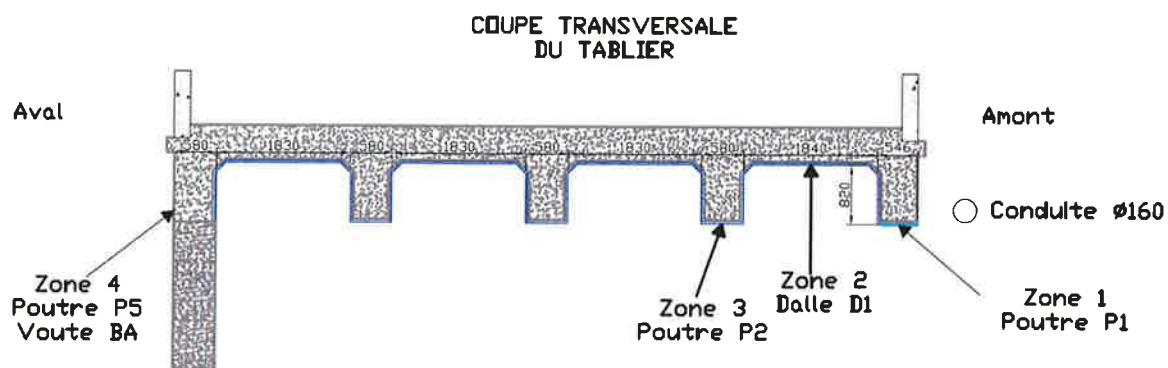
## 3 INVESTIGATIONS SUR SITE

Les moyens de reconnaissance et d'essais ont été définis par le GINGER CEBTP en accord avec le client.

### 3.1 IMPLANTATION ET RECONNAISSANCE DES ESSAIS ET MESURES

L'implantation des mesures et essais réalisés sur site figure sur le plan d'implantation présenté ci-après :

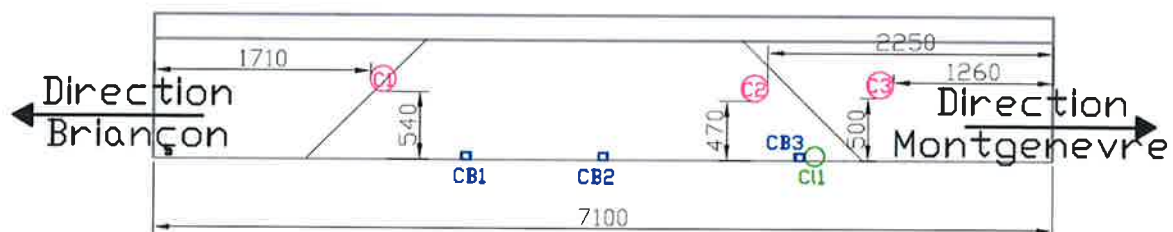




Unités en millimètres.

Légende :	
	Poutre d'origine
	Béton Projeté
	Nerlat et Béton Projeté

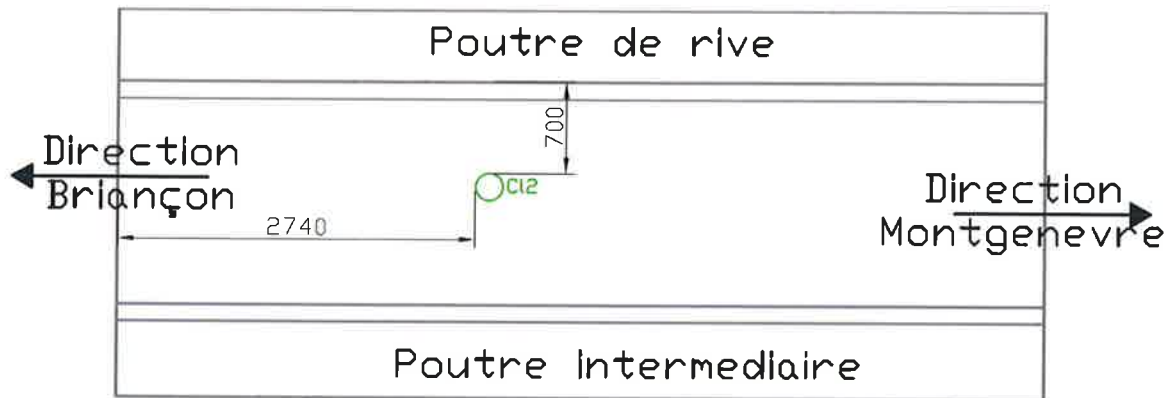
### ZONE 1 - POUTRE P1 VU AMONT



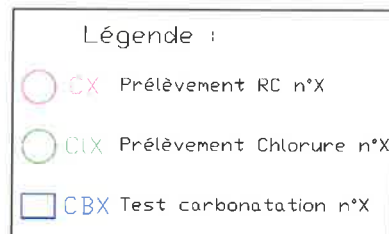
Unités en millimètres.

Légende :	
	CX Prélèvement RC n°X
	CI X Prélèvement Chlorure n°X
	CB X Test carbonatation n°X

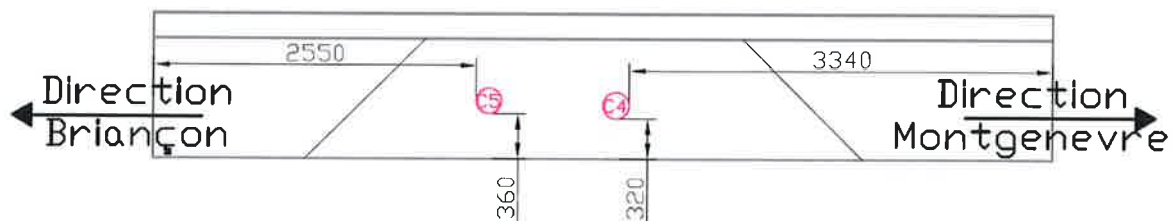
## ZONE 2 - DALLE D1 VU DE DESSOUS



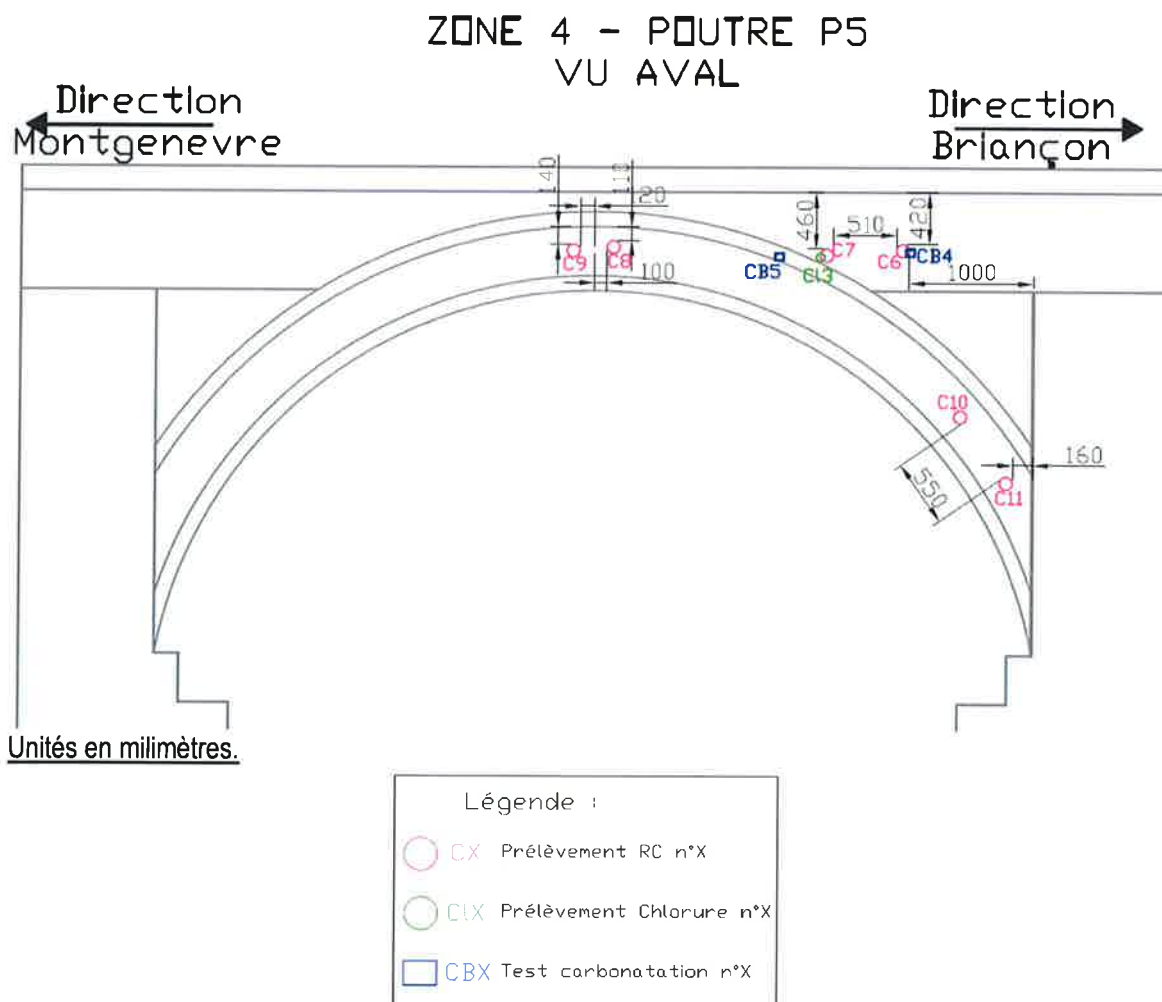
Unités en millimètres.



## ZONE 3 - POUTRE P2 VU AMONT



Unités en millimètres.



Afin de déterminer le positionnement des différents éléments constitutifs des poutres, une détection des aciers par Radar Haute fréquence a été réalisée.  
La méthodologie est décrite ci-dessous.

### 3.2 METHODOLOGIE RADAR HF

Un radar Haute fréquence permet la localisation et la mesure de l'enrobage des armatures situées à une profondeur ne dépassant pas 30 ou 40 cm, de manière totalement non destructive.

Pour permettre une détection précise, il est nécessaire d'avoir une continuité des matériaux auscultés (pas de présence de vide d'air notamment) et l'absence d'humidité. Dans ces deux cas la détection ne peut être correctement interprétée.

Cette méthode ne permet pas d'apprécier ou d'approximer le diamètre ou autres distinctions d'une armature. Cette auscultation se base sur le repérage d'anomalie dans un milieu de données.

Les profils ci-après ont été réalisés au niveau des poutres P1, P2, de la dalle D1 et de la poutre P5, de manière à déterminer l'espacement des armatures et leur enrobage.

5 profils radar haute fréquence ont été réalisés.

### 3.3 RESULTATS DES SONDAGES

Afin de mesurer le diamètre des aciers détectés, des sondages ont été réalisés.

#### 3.3.1 Poutre P1

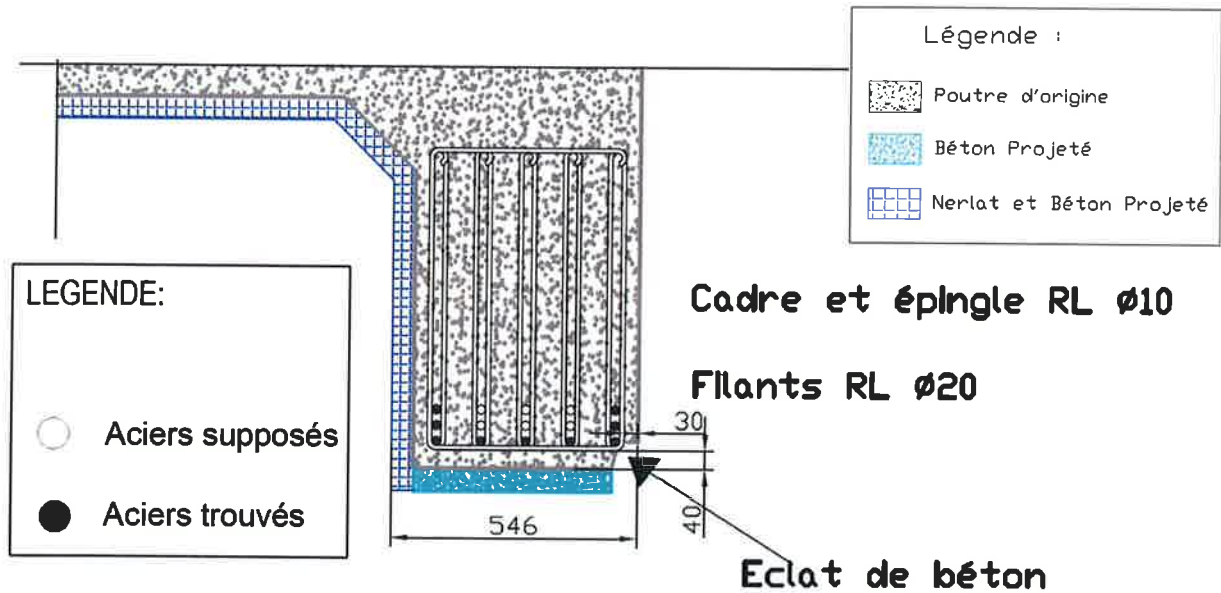
La poutre porte sur 7,10 mètres, elle a une retombée de 82 centimètres et une largeur de 54,6 cm.



Les aciers se situent à un enrobage variant entre 0 et 40 mm par rapport à la sous face. La majorité des aciers du premier lit d'armatures sont à nu à cause de l'éclatement du béton. Les cadres ont un espacement moyen entre l'appui et 1,20 m de 150 mm et un espacement de 300 mm en partie courante.

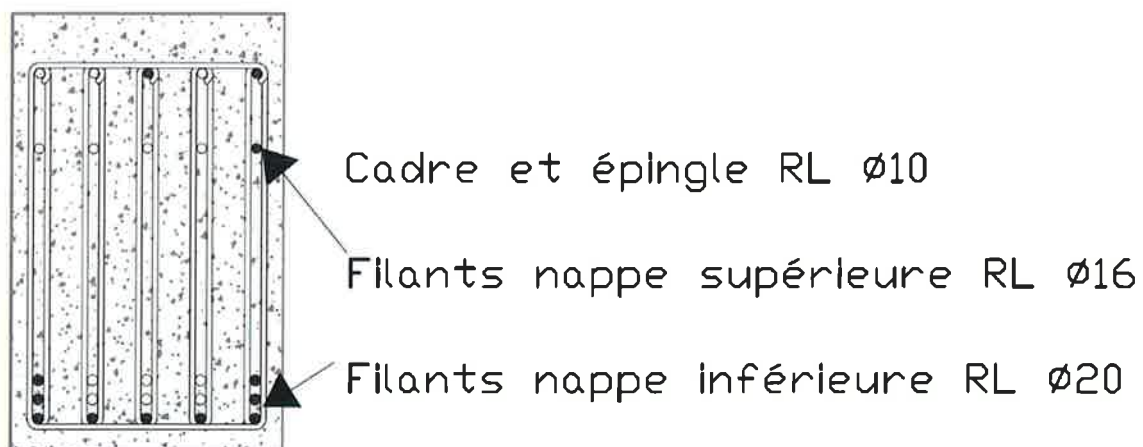
Il est à noter la présence de fissures inclinées à 45° au niveau du changement d'espacement des cadres. Ces fissures indiquent un déficit d'armatures transversales. La coupe de la poutre est présentée ci-dessous :

### 3.3.1.1 P1 en travée

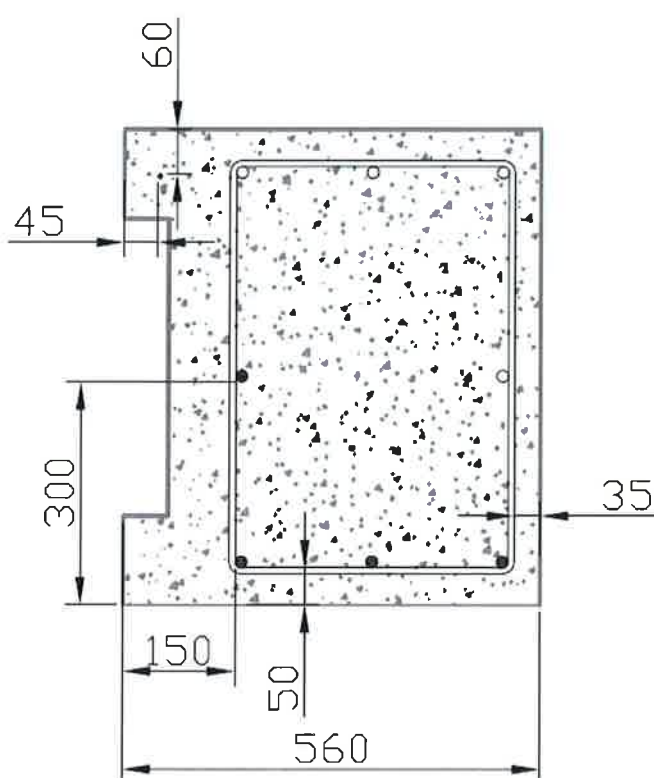




### 3.3.1.2 P1 sur appuis





### 3.3.2 Voute sous la poutre P5



Cadre RL  $\varnothing 8$

Filants RL  $\varnothing 16$

LEGENDE:

-  Aciers supposés
-  Aciers trouvés



### 3.3.3 Nerlat

Le nerlat est en mauvais état avec des décollements supérieurs à 10cm localement ainsi qu'un mauvais état généralisé.



Décollement supérieur  
à 10cm



Mauvais état généralisé

## 3.4 COMMENTAIRES

Les aciers apparents des poutres et de la voute présentent un état de corrosion avancé, avec perte de section (de 20% maximum pour les aciers filants). Une discontinuité d'armature de cadre a été observée au niveau de la poutre P1.

Visuellement l'ouvrage est en mauvais état avec un enrobage faible à très faible voire inexistant sur les poutres de rives.

## 4 DETERMINATION DE LA PROFONDEUR DE CARBONATATION

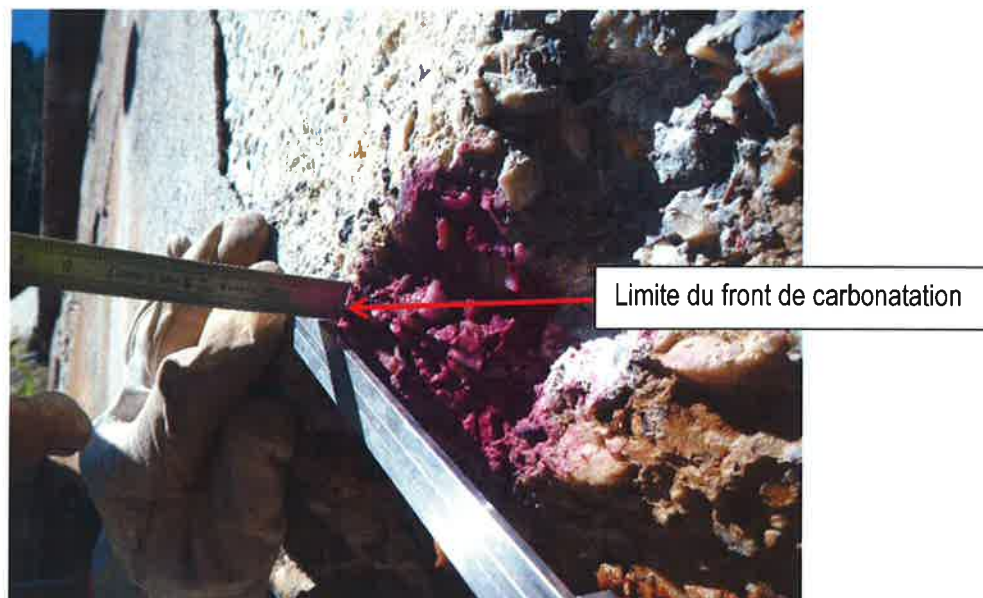
La profondeur de carbonatation permet de déterminer l'épaisseur de béton restante pour la protection des armatures vis-à-vis de la corrosion électrolytique induite par les carbonates.

Le front de carbonatation a été déterminé au niveau des sondages effectué sur site.

### 4.1 MODALITES OPERATOIRES

La carbonatation se caractérise par une baisse de pH. Un test à la phénolphthaléine permet de déterminer la profondeur sur laquelle le pH est inférieur à 8.5.

Une photographie de l'essai sur une zone est donnée ci-dessous :



Au niveau des poutres, le front de carbonatation est très proche de la surface du béton, seule les zones avec un enrobage nul ont un front de carbonatation supérieur à l'enrobage des cadres.



## 4.2 RESULTATS

Les résultats sont exprimés dans le tableau ci-après :

Essais	Localisation	Support	Profondeur de carbonatation
CB1	Poutre 1 face latérale	Béton ancien épaufré	3 cm
CB2	Poutre 1 face latérale	mortier de réparation	5 mm
CB3	Poutre 1 face latérale	Béton existant	5 mm
CB4	Poutre 5 coté aval	Enduit 2cm + Béton	3 cm (1 cm dans le béton)
CB5	Poutre 5 coté aval	Enduit 2cm + Béton	3 cm (1 cm dans le béton)

De façon générale les enrobages initiaux varient de 0 à 40 mm en fonction des zones.

Les couples enrobage-front de carbonatation peuvent être en défaveur de la protection des armatures en différentes zones.

## 5 MESURE DE L'ACTIVITE CORROSIVE AU NIVEAU DE LA POUTRE P5

### 5.1 PRINCIPES

La corrosion en milieu humide est un phénomène d'échange électrochimique entre le métal et le milieu environnant.

A l'interface entre l'acier et le béton, il s'établit une différence de potentiels dépendant des réactions anodiques (oxydation du métal), et cathodique (réduction de l'oxyde).

Cette différence de potentiel dépend de l'état de corrosion des aciers, et permet d'évaluer l'étendue de la corrosion, ainsi que l'activité corrosive.

## 5.2 MATERIEL

Le matériel GALVAPULSE (Germann Instruments) est un système qui combine plusieurs types de mesure ayant pour objectif d'étayer, par une approche prédictive, le comportement d'ouvrages en béton armé affectés par une pathologie de corrosion des armatures.

Ces mesures s'inscrivent dans le cadre d'une prévision de la durée de vie d'un ouvrage en béton armé permettant ainsi de donner des éléments de décision par rapport à la gestion du patrimoine existant.

Les différentes grandeurs mesurées sont les suivantes :

- Potentiel électrochimiques des armatures par rapport à une électrode de référence (Ag/AgCl).
- Courants de corrosion apparents des armatures
- Résistances ohmiques

Ces mesures doivent cependant être synthétisées avec d'autres paramètres pour permettre une évaluation fiable du degré d'altération du béton armé lié à la corrosion des armatures.

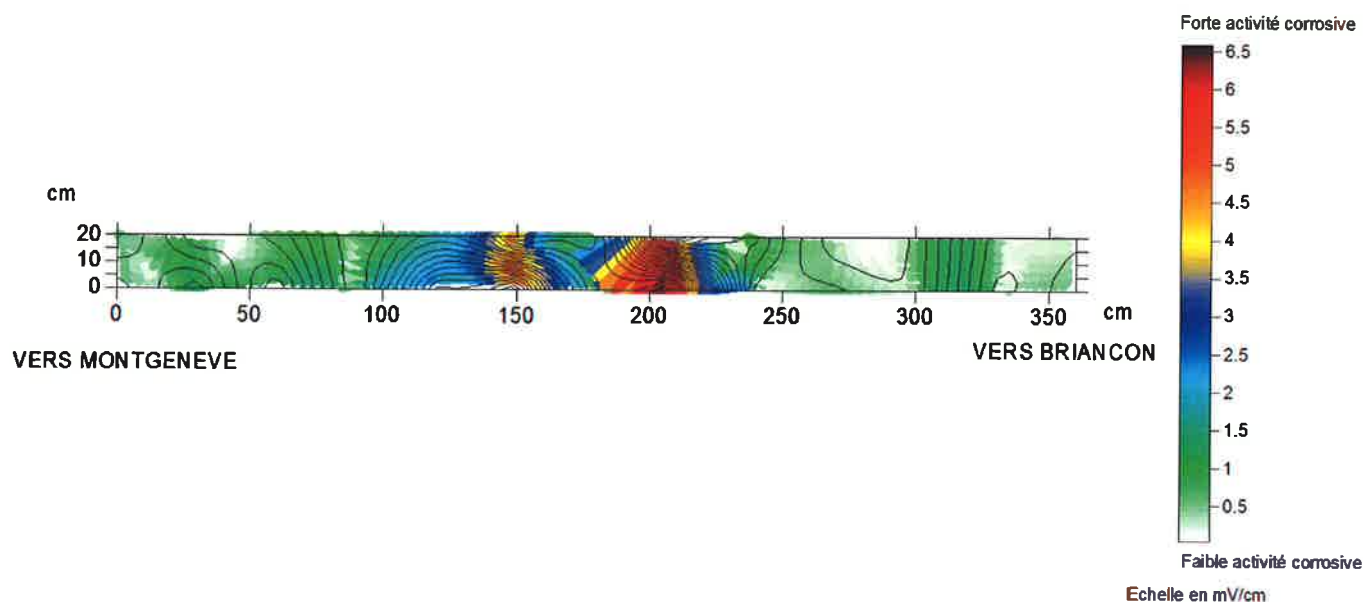
Pour la mise en œuvre des mesures, une armature est mise à nu, et connectée à une borne d'un millivoltmètre. L'autre borne est reliée à une électrode de référence placée sur le parement. La mesure de potentiel est une lecture directe de la différence de potentiel entre les bornes.

Il est ensuite possible de générer une impulsion galvanostatique par l'intermédiaire d'un générateur de tension à courants constant. Lorsque le courant constant est appliqué ( $I_{app}$ ), on observe un saut de potentiel instantané (chute ohmique correspondant à la résistance électrique  $R_{ohm}$  du béton entre l'armature et la surface du béton), puis une polarisation progressive de l'armature qui permet de calculer la résistance de polarisation.

Ces données permettant la polarisation temporaire de l'armature permettent ensuite d'approximer le courant de corrosion par la formule de **Stern-Geary** puis d'en déduire une vitesse de corrosion par les lois de **Faraday**.

### 5.3 RESULTATS

La cartographie des mesures de potentiel est présentée ci-dessous



La mesure de l'activité corrosive réalisée sur la zone 4 au niveau de la face latérale de la poutre 5 montre que celle-ci est élevée, traduisant une corrosion active et évolutive.

En effet, le gradient de potentiel relevé est important. Les valeurs de potentiels sont de l'ordre de - 360 à - 500 mV vs Ag/AgCl. Cela correspond à des probabilités de corrosion supérieures à 90 % selon la norme ASTM C876.

Les mesures de « courant de corrosion » opérées avec le galvapulse traduisent des vitesses de corrosion pouvant être interprétées comme modérées.

## 6 ANALYSES AU LABORATOIRE

Huit carottes et quatre poudres de béton prélevées ont fait l'objet d'analyses.

Sur chacune des carottes il s'agissait de réaliser les analyses suivantes :

- ✚ Détermination de la masse volumique et de la porosité,
- ✚ Détermination de la résistance en compression de l'éprouvette

Sur les échantillons en poudre, il s'agissait de réaliser les analyses suivantes :

- ✚ Détermination de la teneur en ciment.
- ✚ Détermination de la teneur en chlorures totaux.

### 6.1 DETERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE

Les caractéristiques physiques des bétons ont été déterminées suivant la norme NF P 15-459.

La porosité d'un matériau (exprimée en %) représente le volume total des vides accessibles à l'eau sous vide par rapport au volume apparent de l'éprouvette.

La masse volumique apparente d'un matériau s'exprime par le rapport de la masse du matériau sec au volume apparent.

Les masses volumiques apparentes ont été mesurées par pesée hydrostatique sur les éprouvettes ayant servi aux essais de porosité.

Les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous :

N° de la carotte	Zone	Porosité (en %)	Masse volumique apparente (en kg/m <sup>3</sup> )
<b>C2</b>	1 Poutre 1	18.58	2190.96
<b>C4</b>	3 – Poutre 2	18.56	2211.26
<b>C6</b>	4 – Poutre 5	28.67	1870.95
<b>C7</b>	4 – Poutre 5	18.00	2142.74
<b>C10</b>	4 – Voute	19.35	2185.95

On peut noter les résultats sont relativement homogènes avec une porosité importante proche des 20 % pour toutes les carottes et qui peut atteindre les 30% localement sur la poutre 5.

## 6.2 DETERMINATION DE LA RESISTANCE EN COMPRESSION

Les carottes ont été sciées, puis surfacées au soufre, avant d'être écrasées sous presse suivant les prescriptions de la norme NF EN 12504-1.

Les résultats complets des essais figurent dans le tableau ci-après :

REPERE	ZONE	Diamètre (mm)	Hauteur (mm)	Elancement I	Effort de rupture (kN)	Contrainte (MPa)
C2	1 - Poutre 1	104	104	1.0	227.00	<b>26.7</b>
C3	1 - Poutre 1	104	104	1.0	466.30	<b>54.9</b>
C4	3 - Poutre 2	104	104	1.0	229.60	<b>27.0</b>
C5	3 - Poutre 2	104	104	1.0	285.50	<b>33.6</b>
C7	4 - Poutre 5	104	104	1.0	389.80	<b>45.9</b>
C10	4 - Voute	104	104	1.0	218.40	<b>25.7</b>
C11	4 - Voute	104	104	1.0	328.60	<b>38.7</b>

La résistance moyenne brute est donnée dans le tableau ci-dessous :

	POUTRES ET VOUTE
<b>Rc Moyenne en MPa</b>	<b>39.4</b>
<b>Ecart type en MPa</b>	<b>13.9</b>

Tableau 2

En s'inspirant de l'approche B de la norme NF EN 13791 CN de Mars 2013, la résistance caractéristique sur site estimée est la valeur la plus faible de :

$$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - k$$

ou

$$f_{ck,is} = f_{is, \text{ plus faible }} + 4$$

$f_{ck,is}$  : Valeur de la résistance caractéristique à la compression sur site en MPa,

$f_{m(n),is}$  : Moyenne de la résistance à la compression sur site de  $n$  résultats d'essais,

$k$  : Marge associée à de petits nombres de résultats d'essais, valeur déterminée dans le tableau 2 de la norme NF EN 13791 CN de Mars 2013.

$f_{is, \text{ plus faible }}$  : Plus faible résultat d'essai de la résistance en compression sur site

La résistance caractéristique sur site estimée est regroupée dans le tableau 3 :

	POUTRES ET VOUTE
RESISTANCE CARACTERISTIQUE ESTIMEE EN MPA	29.7

Tableau 3

La classe de résistance à la compression conforme à la norme EN206-1/CN du béton déterminée à partir du tableau 1 de la norme NF EN 13791 CN de Mars 2013 est regroupée dans le tableau 4 ci-dessous :

	POUTRES ET VOUTE
CLASSE DE RESISTANCE EN COMPRESSION EN MPA	C25/30

Tableau 4

## 6.3 DETERMINATION DE LA TENEUR EN CIMENT DES POUDRES

### 6.3.1 Calcul de la teneur en $\text{SiO}_2$

Ces déterminations ont été réalisées après attaque sélective à l'acide nitrique 1/50 des matériaux finement broyés (mode opératoire développé dans l'ouvrage GranDuBé).

Chaque prise d'essai a subi un traitement thermique préalable à 540° C pendant 2 heures, de manière à rendre soluble les carbo-silicates néoformés par carbonatation du ciment (procédure retenue par la norme belge NBN B 15-250).

REPERES	SILICE SOLUBLE EN $\text{SiO}_2$	SULFURES
<b>Poutre P1</b>		
(0 à 20) mm	4.59%	Absence
(20 à 40) mm	4.70%	Absence
<b>Sous face dalle D1</b>		
(0 à 20) mm	4.77%	Absence
(20 à 40) mm	2.81%	Absence
<b>Poutre P5</b>		
(0 à 20) mm	3.50%	Absence
(20 à 40) mm	3.43%	Absence

### 6.3.2 Calcul de la teneur en ciment

Compte tenu de l'absence de sulfure, le calcul a été réalisé en prenant comme hypothèse l'utilisation d'un ciment contenant 21 % de silice combinée, avec la formule suivante :

$$Tx_{\text{ciment}} = \frac{Tx_{\text{silice soluble}}}{Tx_{\text{silice combiné dans le ciment}}} \times 100$$

REPERES	TENEUR EN CIMENT
<b>Poutre P1</b>	
(0 à 20) mm	21.86%
(20 à 40) mm	22.38%
<b>Sous face dalle D1</b>	
(0 à 20) mm	22.71%
(20 à 40) mm	13.38%
<b>Poutre P5</b>	
(0 à 20) mm	16.67%
(20 à 40) mm	16.33%

## 6.4 DETERMINATION DES TENEURS EN CHLORURES LIBRE

### 6.4.1 Modalités opératoires

La détermination de la teneur en chlorures libre a été opérée par potentiométrie après extraction suivant la méthode présentée dans le GranDuBé.

### 6.4.2 Expression des résultats

Le calcul de la teneur en chlorures par rapport au ciment a été opéré en utilisant les teneurs en ciment obtenues au § 6.3.2

REPERE	TENEUR EN CHLORURES LIBRE DANS LE BETON	TENEUR EN CIMENT	TENEUR EN CHLORURES LIBRE RAPPORTEE AU TAUX DE CIMENT
<b>Poutre P1</b>			
(0 à 20) mm	0.341 %	21.86 %	<b>1.56 %</b>
(20 à 40) mm	0.087 %	22.38 %	<b>0.39 %</b>
<b>Sous face dalle D1</b>			
(0 à 20) mm	0.136 %	22.71 %	<b>0.60 %</b>
(20 à 40) mm	0.059 %	13.38 %	<b>0.44 %</b>
<b>Poutre P5</b>			
(0 à 20) mm	0.145 %	16.67 %	<b>0.87 %</b>
(20 à 40) mm	0.069 %	16.33 %	<b>0.42 %</b>

### 6.4.3 Commentaires

Si l'on se réfère au document normatif actuellement en vigueur, la teneur limite en chlorures dans le béton armé est la suivante :

⇒ NF EN 206-1 ⇒ 0.40 % / ciment

Les teneurs exprimées en rouge sont supérieures à cette valeur limite et sont donc considérées comme théoriquement préjudiciables à la pérennité des armatures. Cependant la teneur en chlorure à une profondeur supérieure à 20 mm est très proche de la valeur limite voire inférieure (0.39 %, 0.42 %, 0.44 % pour une limite théorique à 0.40 %).

**Le risque de corrosion des armatures lié à la présence d'ions chlorures dans le béton est réel mais sa présence en faible quantité à une profondeur supérieure à 20 mm ne permet pas de le tenir responsable des dommages déjà présent.**



## 7 COMMENTAIRES

Les investigations et analyses appellent les commentaires suivants :

- **L'ouvrage est ponctuellement affecté de désordres d'origine mécanique,**
- **Les armatures, dont les enrobages sont faibles, baignant dans un béton de basicité inférieure à 8,5 les situant dans un état de dépassement,**
- **La teneur en chlorure du béton est très supérieure à la valeur limite au niveau du parement, mais s'atténue au cœur du béton,**
- **L'activité corrosive est très forte sur la face latérale de la poutre 5.**

Les pathologies ainsi relevées sur le béton ont plusieurs origines :

- **la présence d'agents polluants (chlorures) dans le béton liées aux sels de déverglaçage,**
- **des infiltrations à travers la dalle en béton,**
- **Une porosité importante du béton, caractérisant une faible durabilité. L'ouvrage situé à une altitude de 1450 m, est soumis aux effets du gel et dégel.**

## 8 SYNTHESE

A ce jour, l'ouvrage est soumis à des conditions climatiques extrêmes :

- gel/dégel,
- sels de déverglaçage,
- sollicitation mécaniques importantes.

Une problématique d'ordre mécanique a été relevé au niveau de la poutre de rive amont, se manifestant par la présence d'une fissure à 45° de chaque côté. Ce phénomène est lié à un déficit d'armatures transversales à proximité des appuis.

D'un point de vue de la durabilité les altérations sont liées à une pathologie de corrosion des armatures, couplée à des phénomènes de gel et dégel.

L'origine de la corrosion des armatures est liée aux zones de faible enrobage où le béton est carbonaté et chloré. Cette combinaison d'agents pathogènes crée des conditions de corrosion pouvant être quantifiées d'évolutives avec une vitesse modérée à rapide. De plus cette propagation est accentuée par les effets du gel et du dégel.

A terme, les armatures les plus proches du parement vont continuer à se dissoudre pour arriver à une section insuffisante vis-à-vis de la stabilité mécanique de l'ouvrage.

Ponctuellement l'ouvrage présente des défauts (manque de béton, zone détruites) qu'il conviendra de reprendre.

## 9 PRECONISATIONS

Compte tenu des différents éléments établis lors de ce diagnostic (corrosion des armatures en cours, porosité importante, présence de chlorures, ), il est nécessaire de prévoir des réparations permettant de **stopper l'évolution de la corrosion au niveau du béton armé**, ainsi que des travaux de réfection de l'étanchéité du bassin, de **remise en état d'une zone d'enrobage des armatures en place**, de remplacement des armatures sectionnées, de renforcement des poutres aux efforts tranchants (cadres).

En effet, des réparations ponctuelles et traditionnelles avec un piquage des aciers, un détournage et une **protection des armatures à l'aide d'un produit** ne sont pas suffisantes pour éviter la propagation de la corrosion. De plus elles peuvent induire un phénomène de pile induite, pouvant encore accélérer le processus de dégradation.

**De façon générale, les types de travaux à mettre en œuvre peuvent être décrits selon les façons suivantes :**

- Purge de tout le béton non adhérent, par un procédé de type sablage,
- **Rajout d'armatures longitudinales (si perte de section trop importante) et transversales (proche des appuis (fissures à 45°),**
- Reprise des zones détruites,
- **Réfection de l'étanchéité,**
- **Reconstitution des enrobages et mise en place d'un système de protection électrochimique.**

Cette solution devra être étudiée à la fois en Maîtrise d'œuvre ainsi qu'en entreprise par des personnes certifiées niveau 2 secteur des structures en béton armé selon la norme NF EN 15257 de mars 2007.