

## génie urbain

# ÉTUDE DE L'ALTÉRATION DU RÉSEAU D'ASSAINISSEMENT DE LA VILLE DE RENNES

---

**Y. MÉLINGE(1), R. JAUBERTHIE(1), C. DAIGUEBONNE(2),  
O. GUILLOU(2), R. LAHOGUE(3), B. GUEGUEN(3)**

(1) LGCGM – INSA & IUT de Rennes – 20 Av des buttes de coesmes – CS 14315 – 35043 Rennes Cedex  
(2) Université européenne de Bretagne, UMR CNRS-INSA 6226 « Sciences Chimiques de Rennes » – INSA,

20 Avenue des buttes de Coësmes – 35043 Rennes

(3) Direction des rues – D.R.A. Assainissement – Ville de Rennes

---

## 1. INTRODUCTION

L'objectif de l'étude en cours est de mettre en évidence l'état d'altération du réseau d'assainissement de la ville de Rennes, de manière à pouvoir envisager les opérations de maintenance dans une logique de prévention et non consécutives à un accident.

La ville de Rennes avec une surface de 5022 ha, ses 20992 habitants, représente la dixième ville de France. La structuration contemporaine du schéma d'assainissement date de 1880 avec une accélération dans son développement à partir des années 1960. Par ailleurs, le réseau est composé presque exclusivement de conduites à base cimentaire. Une vue de l'occupation du réseau est donnée sur la figure 1.

La partie unitaire représente une longueur totale de 155 km, la partie eaux usées du système séparatif représente une longueur totale de 269 km, tandis que la partie eaux pluviales représente une longueur totale de 206 km.

Dans un contexte actuel de protection de l'environnement, le patrimoine assainissement occupe une place non négligeable, compte tenu des volumes fluides pollués qui sont

véhiculés au quotidien et à l'heure actuelle toujours croissants. A des fins de santé publique et de gestion des ressources en eaux, la qualité des effluents traités fait l'objet de contrôles de plus en plus sévères et il convient d'entreprendre les opérations de maintenance nécessaires pour éviter les entrées d'eaux dans les systèmes de transport, mais également les fuites vers l'extérieur.

Au cours du temps, les évolutions morphologiques de la ville contribue à une meilleure gestion du fonctionnement du réseau en déplaçant notamment les activités industrielles en périphérie de la ville. En correspondance, le trafic routier a également évolué par une modification des conditions de chargement de la voirie et de ses équipements.

Technologiquement, le réseau d'assainissement, même à base cimentaire, est de constitution diverse et la mise en œuvre de matériaux de plus en plus performants contribue à une meilleure durabilité. Or, si aujourd'hui il est aisés d'identifier des états de référence, quant aux propriétés des matériaux et des ouvrages tant sur le plan physique, chimique, mécanique..., la mise en évidence de ces états de références s'avère délicate pour les

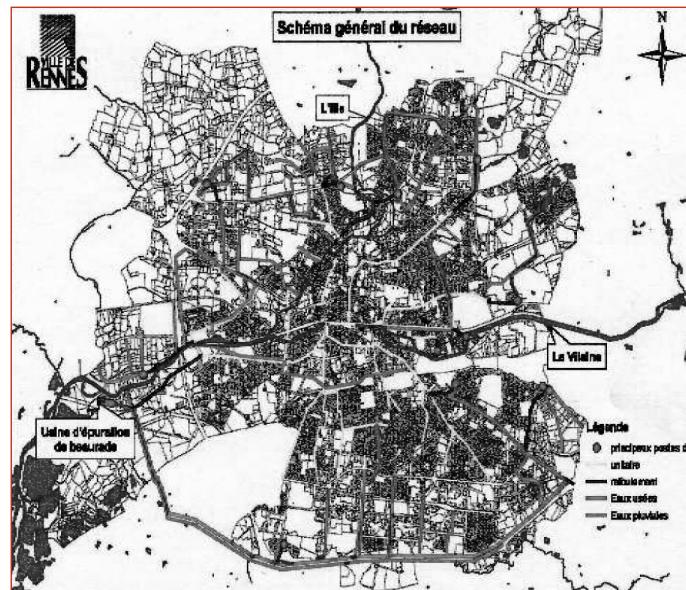
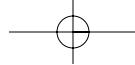


Figure 1. Vue du réseau d'assainissement de la ville de Rennes.

ouvrages et formulations anciennes. Ainsi, décrire les cinétiques d'endommagement de tels systèmes impose des points de vue multicritères et l'élaboration de protocoles particuliers pour accéder à des indicateurs pertinents.

Dans cet article, nous faisons état du projet de recherche en cours entre les deux équipes de recherche et la ville de Rennes sur la protection du patrimoine en présentant tout d'abord la démarche retenue pour étudier son état et les moyens mis en œuvre. Ce protocole est ensuite illustré par la présentation de quelques propriétés de prélèvements dans une rue particulière et nous concluons le propos par l'analyse des propriétés mécaniques de rupture en compression et en traction équivalente d'une population de prélevements localisée dans la ville.

## 2. PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL ET MOYENS EXPÉRIMENTAUX

Au cours d'une intervention des services de la direction des rues de la ville de Rennes sur le réseau (cas de la connexion d'un particulier par exemple) et qui peut intéresser le projet, la conduite est mise à jour par excavation et un échantillon est obtenu par carottage. La zone de prélèvement est repérée par l'angle  $\theta$ , figure 2. Par ailleurs, l'échantillon est localisé dans la ville, dans la rue et le linéaire est décrit par ses données principales (longueur, pente, diamètre, épaisseur, présence de refoulement en amont, type de réseau...). Une inspection télévisuelle est réalisée, ce qui permet de décrire qualitativement l'état général de la face interne du conduit :

- Détection de fissures,
- Problème des eaux parasites,
- Niveau moyen probable dans le conduit (salissures),
- Altération générale de la face interne.

L'échantillon et une fiche de reconnaissance sont ensuite acheminés au laboratoire où il subit tout d'abord une décomposition selon le schéma de la figure 2.

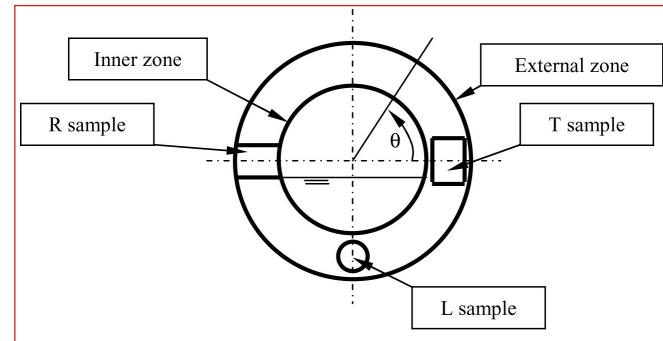


Figure 2. Localisation du prélèvement sur la conduite. Mise en évidence des trois directions d'étude des propriétés des matériaux.

En vue d'établir les propriétés du matériau et de la conduite, nous distinguons trois directions privilégiées pour la mise en œuvre des échantillons :

- Direction longitudinale, L (dans le sens de l'écoulement en excluant les faces interne et externe du conduit),
- Direction transversale, T (perpendiculaire au sens de l'écoulement en excluant les faces interne et externe du conduit),
- Direction radiale, R (l'épaisseur de la conduite).

Ce choix vise à détecter une éventuelle anisotropie liée à la mise en œuvre des conduits et à l'altération. Dans le cas d'absence d'anisotropie, les échantillons L et T étant pris en cœur de l'épaisseur, cela permet de vérifier le caractère répétable des mesures. Selon la taille du prélèvement, nous préparons pour chaque direction deux échantillons destinés à la mesure de la résistance à la rupture en compression et en traction (par le biais d'un test brésilien). La rupture de l'échantillon R au cours du test brésilien permet ensuite de procéder à des analyses physico chimiques en distinguant trois zones :

- à proximité de la face interne,
- à proximité de la face externe,
- au centre de l'épaisseur du conduit.

Un test de réaction à l'application d'une solution de phénol phtaléine permet de délimiter chaque prélèvement. Ceux-ci sont analysés systématiquement par diffraction aux rayons X (analyses globales après réduction en poudre des prélèvements) et au MEB. Pour cette dernière analyse, outre l'imagerie, une analyse EDS est également réalisée.

Des essais de remontée capillaire sont entrepris sur des échantillons R et T (ou L) ou l'on distingue une cinétique depuis la face interne, depuis la face externe et au centre. Le protocole expérimental de ces essais est conduit pour effectuer les mesures de porosité connectée et de densité du squelette solide (qui complète la densité apparente des éprouvettes après une période de séchage en salle sèche ( $T = 20^\circ\text{C}$ ,  $\text{HR} = 50\%$ )). La dimension des échantillons est imposée par l'épaisseur des conduites la plus courante et nous avons opté pour des échantillons cylindriques de 28mm de diamètre et de 1,5D de hauteur. Seule la hauteur de l'échantillon R est conditionnée par l'épaisseur de la conduite. Ces échantillons sont carottés et placés ensuite en salle sèche pour éliminer l'excédent en eau et stabiliser leur masse avant les essais de caractérisation.

Après calibration de la presse utilisée pour les tests mécaniques de rupture, un module d'Young statique est estimé et qui vient compléter un module d'Young dynamique.

A ce stade, une banque de données est tout d'abord construite et aux données déjà énoncées, chaque prélèvement se voit adjoint des données environnantes et on distingue :

- pour les conduits unitaires, la taille du bassin versant et une estimation de l'équivalent habitant,
- pour les conduits des eaux pluviales, la taille du bassin versant,
- pour les conduits des eaux usées, une estimation de l'équivalent habitant et/ou une estimation de la qualité des rejets des industries présentes dans la zone d'étude,
- une description codifiée de la voirie, de son trafic routier et l'orientation de la conduite par rapport à la voirie,
- la date d'implantation du linéaire,
- éventuellement la composition du béton et son mode de fabrication,
- une description des modifications majeures dans le quartier,
- une description géotechnique du sous sol,
- dans la mesure du possible, des données sur les pluies, les débits, hauteurs de remplissage et propriétés des effluents via les chroniques disponibles,
- une description des opérations de nettoyage des conduits,
- ...

Cette opération d'archivage est très couteuse en temps et subit au cours du déroulement du projet des évolutions pour la rendre cohérente, ergonomique et lisible par l'obtention de toutes les données. Un bilan exhaustif ne sera vraiment possible qu'après un prélèvement suffisant d'échantillons, compte tenu de la taille de la ville. Dans cet article, nous limitons l'exposé au cas de l'analyse de certaines données pour une rue et tentons de discerner des tendances en s'appuyant sur les données de résistances mécaniques jusqu'ici acquises.

### 3. MISE EN ÉVIDENCE DE PATHOLOGIES DANS UN CAS PARTICULIER – CAS DU BD VOLNAY

La conduite étudiée est actuellement uniquement utilisée pour les eaux usées. Elle a un diamètre  $\phi=200$  mm et une épaisseur de 4 cm, le béton est armé avec des armatures lisses de  $\phi=2\text{mm}$  sans traces apparentes de rouille. L'échantillon cylindrique découpé au trépan diamanté dans la direction radiale du tuyau d'assainissement est présenté sur la figure 3 pour illustration.

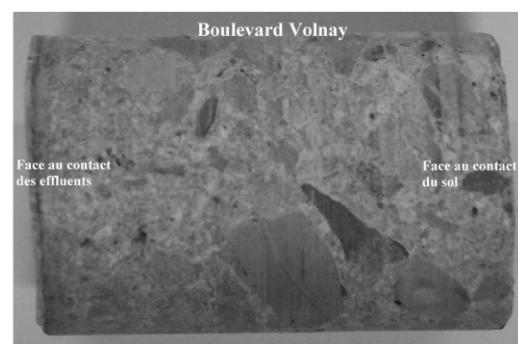


Figure 3. Illustration de la fabrication de l'échantillon R.

Après rupture par fendage, la solution alcoolique de phénol phtaléine est pulvérisée sur la section. La matrice cimentaire dont le pH est supérieure à 12 est de couleur mauve, la partie incolore est une zone à pH réduit. Dans le cas de l'échantillon prélevé au Boulevard Volney, les zones de pH réduit au contact des effluents et au contact du sol sont d'épaisseurs très réduites, figure 4. Du côté du sol, elle est de l'ordre de 1 mm et du côté de l'effluent, de 0,5 mm. Il en découle que les armatures en acier sont toujours protégées de la corrosion dans cet environnement de pH élevé. Sur cette section, 3 éclats sont prélevés pour les observations au MEB et les analyses EDS.

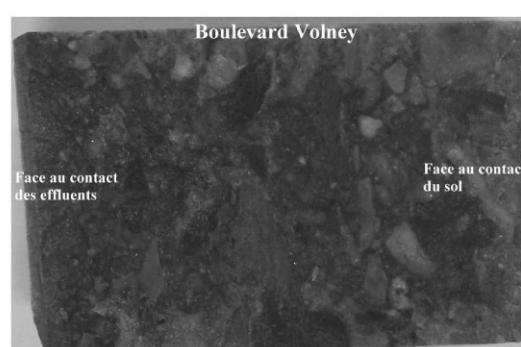
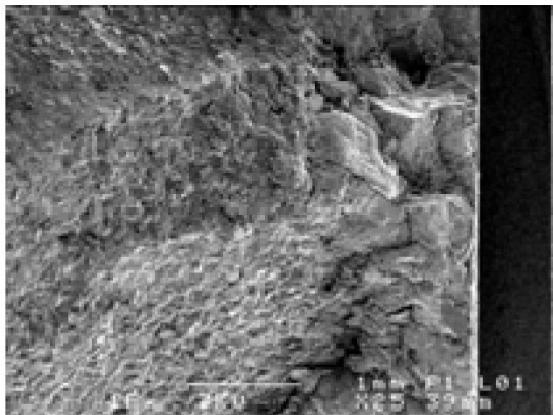


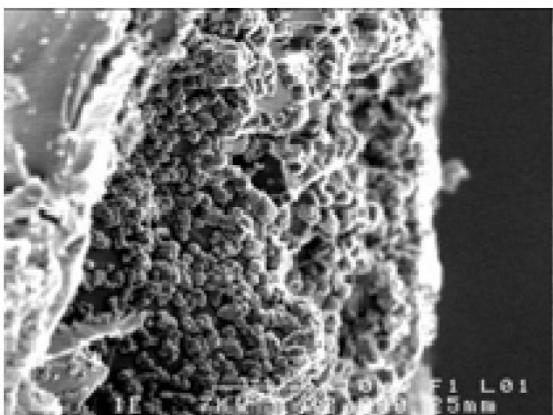
Figure 4. Détermination du pH du béton à la phénol phtaléine.

#### 3.1. Eclat au contact du sol

La figure 5 montre l'aspect général de cette partie avec un grossissement 25.



**Figure 5.** Observation au MEB du matériau en contact avec le sol (\*25).

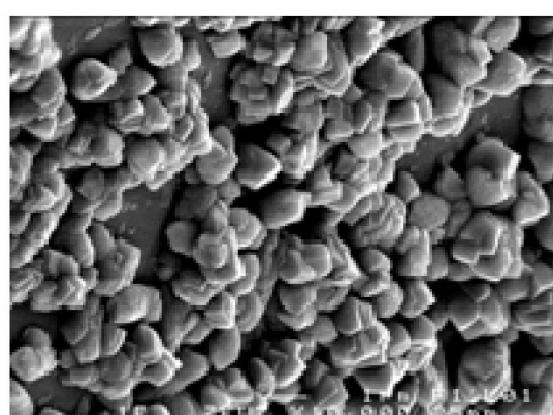


**Figure 6.** Observation au MEB du matériau en contact avec le sol (\*2000).

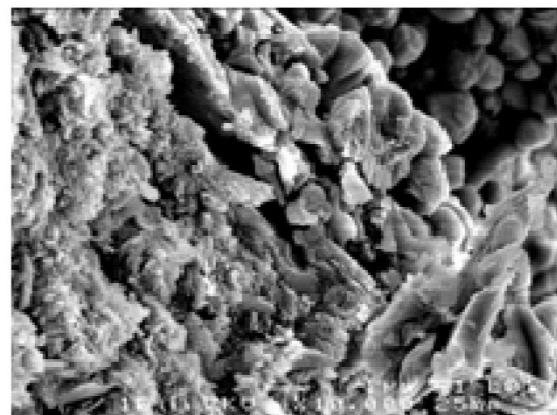
Sur la photographie de la figure 6, le carbonate de calcium (calcite  $\text{CaCO}_3$ ) s'est développé sous forme de rhomboèdres facilement identifiables (et confirmé par microanalyse EDS). Cette zone carbonatée présente une épaisseur voisine de  $50\mu\text{m}$ .

La taille de ces minéraux est présentée sur la figure 7. L'ordre de grandeur est de  $1\mu\text{m}$ .

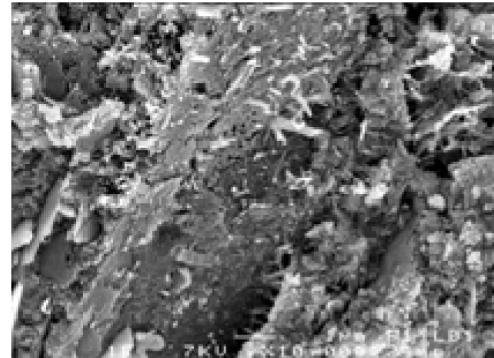
La photographie de la figure 8 est prise à une distance de  $50\mu\text{m}$  de la surface : elle est en limite de la carbonatation. Nous observons les phases cimentaires dégradées mais non carbo-



**Figure 7.** Observation au MEB de la calcite (\*10 000).



**Figure 8.** Observation au MEB de la limite de carbonatation (\*10 000).



**Figure 9.** Observations au MEB de biotite altérée (\*10 000).

natées. En profondeur, environ 1 mm, nous avons des minéraux phylliteux altérés, l'analyse EDS semble montrer des micas provenant des sables utilisés, figure 9.

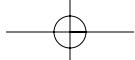
En compléments des clichés MEB, les tableaux 1, 2 et 3 correspondent à des analyses ponctuelles sur des points voisins de la surface externe de la canalisation. La matrice cimentaire n'est, en apparence pas dégradée. Seul le contact avec l'air libre présente la carbonatation de la portlandite. La présence de quelques micas de type muscovite est à relier soit à des cristaux présents dans le sol au contact de la canalisation soit dans le sable utilisé pour la confection du béton.

### 3.2. Eclat au contact des effluents

Les observations à partir de la face en contact avec les effluents montrent une première zone plus pale à l'œil nu mais aussi visible au MEB, figure 10.

Elément	%Masse	%Atomique
C K	8.94	16.54
O K	39.37	54.65
Si K	0.73	0.58
Ca K	50.95	28.23
<b>Totaux</b>	<b>100.00</b>	

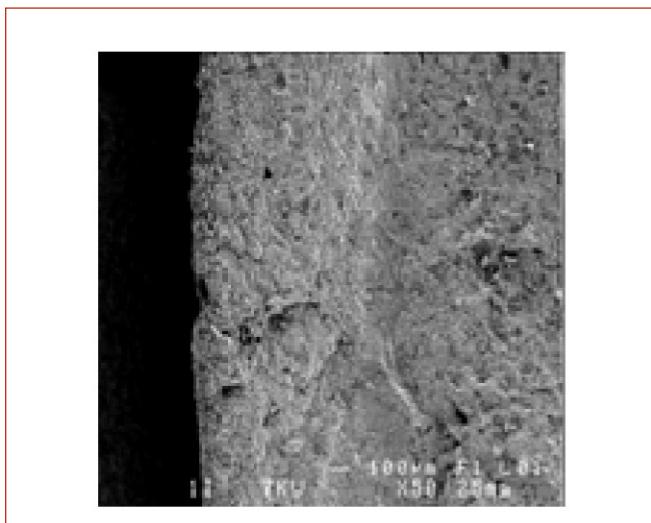
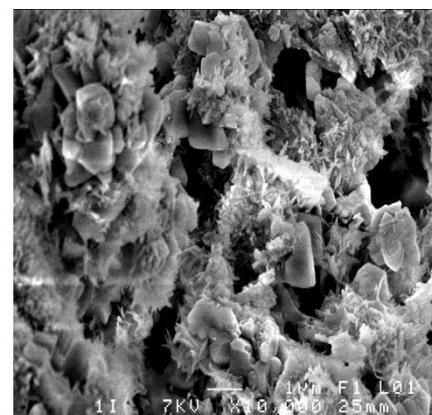
**Tableau 1.** Microanalyse sur une calcite.



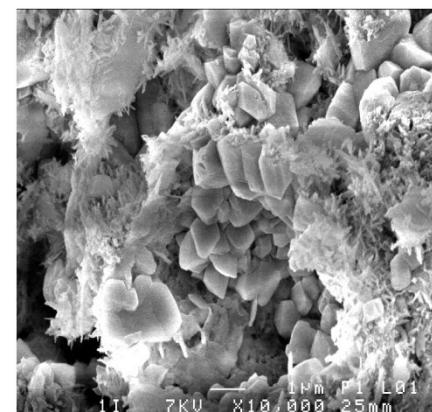
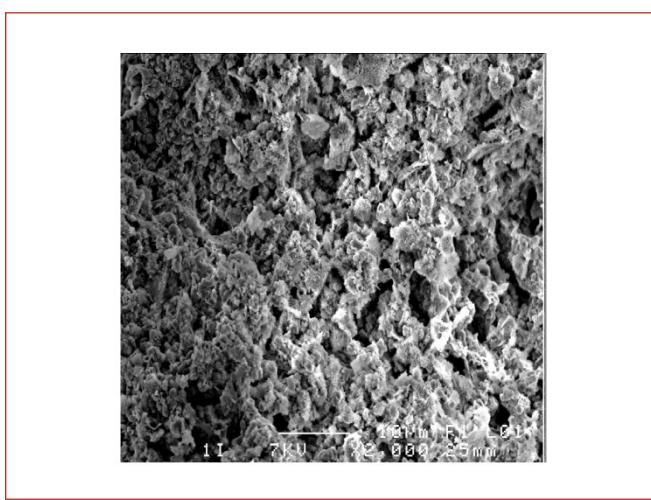
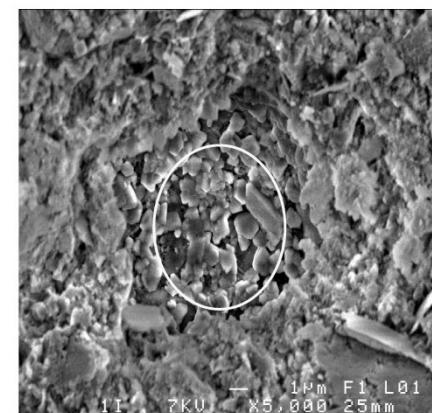
Elément	% Masse	% Atomique
C K	7.69	13.07
O K	49.46	63.10
Al K	0.73	0.55
Si K	9.66	7.02
Ca K	30.51	15.54
Fe K	1.96	0.72
<b>Totaux</b>	<b>100.00</b>	

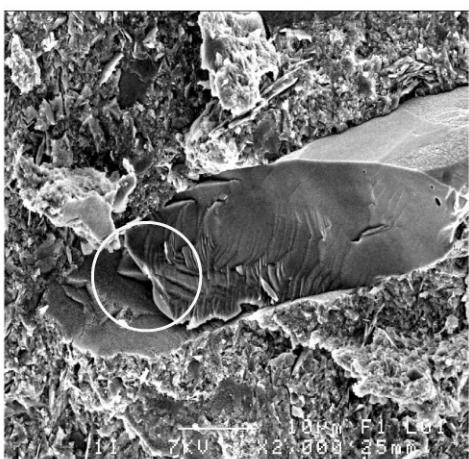
**Tableau 2.** Microanalyse sur la matrice cimentaire.

Elément	% Masse	% Atomique
C K	6.73	11.19
O K	45.59	56.93
Mg K	0.42	0.35
Al K	15.12	11.19
Si K	20.56	14.62
K K	7.26	3.71
Ca K	2.98	1.49
Ti K	0.83	0.35
Fe K	0.51	0.18
<b>Totaux</b>	<b>100.00</b>	

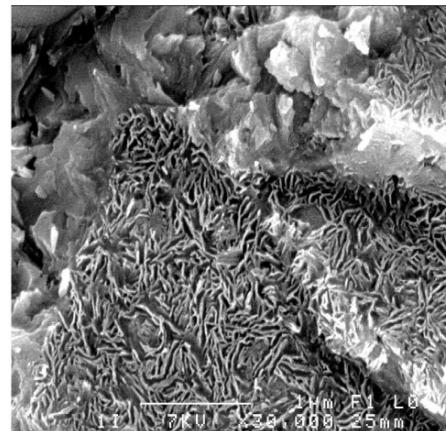
**Tableau 3.** Microanalyse sur un mica muscovite.**Figure 10.** Observation au MEB : face en contact avec les effluents (\*50).**Figure 12.** Observation au MEB : face en contact avec les effluents, zone claire (\*10 000).

Cette zone présente une épaisseur entre 0,5 et 1 mm. Elle est fortement dégradée comme l'indique la figure 11. Le détail de cette zone est représenté figure 12 avec un plus fort grossissement. Cette figure indique clairement les altérations en carbonate de calcium (calcite) et en sulfate de calcium (gypse). La calcite se développe en formes globuleuses rhomboédriques et le gypse en aiguilles : les cristaux des figures 13 et 14 mettent en évidence ces faces cristallines.

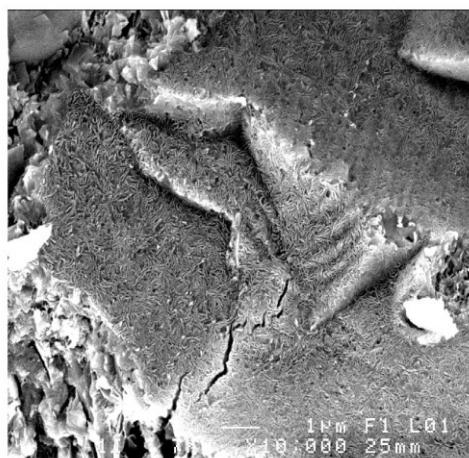
**Figure 13.** Observation au MEB : face en contact avec les effluents, zone claire (\*10 000).**Figure 11.** Observation au MEB : face en contact avec les effluents, zone claire (\*2000).**Figure 14.** Observation au MEB : zone sombre à 1 mm de profondeur, géode de carbonates (\*10 000).



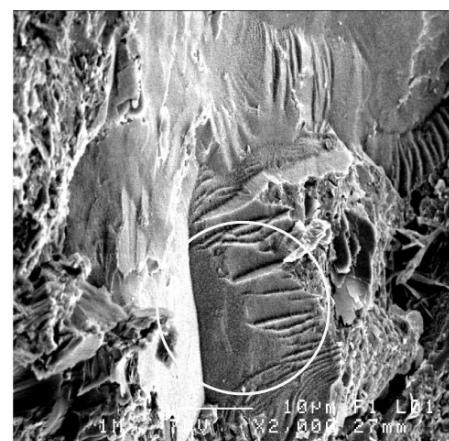
**Figure 15. Observation au MEB : zone sombre à 1 mm de profondeur, silex (\*2 000).**



**Figure 17. Observation au MEB : contact du silex et de la matrice cimentaire (\*30 000).**



**Figure 16. Observation au MEB : contact du silex et de la matrice cimentaire (\*10 000).**



**Figure 18. Observation au MEB : contact du silex et de la matrice cimentaire (\*2 000).**

Lorsque les observations sont faites dans la zone sombre, la matrice cimentaire n'est pas dégradée, seuls les pores sont parfois occupés par ces altérations comme le montre la géode de carbonates, figure 14. Outre les cas particuliers et exceptionnels de pores avec des sulfates ou des carbonates, il n'y a pas d'altérations liées à la pénétration d'agents extérieurs. En revanche, certains granulats ont réagit au contact de la matrice cimentaire. La figure 15 montre ce contact avec un gravier vraisemblablement de silex et dont la cassure conchoïdale est caractéristique et de nature chimique vérifiée par micro analyse.

Le détail de la partie encerclée est représenté sur la figure 16. Dans cette zone le silex est arraché et il reste l'empreinte laissée sur la matrice. Il y a donc un phénomène d'alcali réaction sur ce silex retrouvé sur l'empreinte figure 17. Au contraire, les granulats quartzueux ne présentent pas ce problème, figure 18.

En complément de ces analyses par visualisation, nous avons noté que la partie interne de la canalisation présente sur une très faible épaisseur des minéraux exogènes dont les analyses EDS sont reportées dans les tableaux 4, 5, 6 et

7. L'analyse sur un quartz déchaussé de cette surface met en évidence des atomes de Brome.

La présence sur un point d'analyse d'atomes de brome est exceptionnelle, tableau 4, quartz enrobé de Brome ; par contre, les chlores, tableau 6, et les sulfates, tableau 7, apparaissent en grande quantité. Ces éléments présents sur la partie interne de la canalisation peuvent s'expliquer par la présence, autrefois et dans cette rue, d'une clinique qui a pu rejeter ces composés dans les effluents. Mais des rejets « sauvages » peuvent aussi être la cause de la forte teneur en chlore, par exemple des rejets d'eau de javel pour

Elément	% Masse	% Atomique
O K	56.10	71.25
Si K	35.03	25.34
K K	2.15	1.12
Ca K	2.30	1.17
Br L	4.42	1.12
<b>Totaux</b>	<b>100.00</b>	

**Tableau 4. Microanalyse sur un quartz.**

Elément	% Masse	% Atomique
C K	16.47	25.98
O K	46.38	54.92
Al K	1.76	1.23
Si K	5.57	3.76
K K	0.64	0.31
Ca K	29.19	13.80
Totaux	<b>100.00</b>	

**Tableau 5. Microanalyse sur une calcite.**

Elément	% Masse	% Atomique
C K	64.03	77.41
O K	14.55	13.21
Si K	6.27	3.24
Cl K	13.67	5.60
Ca K	1.49	0.54
Totaux	<b>100.00</b>	

**Tableau 6. Microanalyse sur des chlores.**

Elément	% Masse	% Atomique
C K	9.90	20.76
O K	22.43	35.29
Al K	0.59	0.55
Si K	2.25	2.02
S K	33.28	26.13
Ca Ka	5.73	3.60
Fe K	25.82	11.64
Totaux	<b>100.00</b>	

**Tableau 7. Microanalyse sur du sulfate de fer.**

le chlore et de sulfate de fer par l'intermédiaire de produits de jardinage par exemple anti mousse.

### 3.3. Partie médiane de la canalisation

Dans la partie médiane du tuyau, l'absence de muscovite permet d'attribuer ce minéral au sol et non au sable du béton. Outre les phases habituelles, l'ettringite, tableau 8, est une ettringite primaire, disséminée dans la matrice.

Elément	% Masse	% Atomique
C K	13.51	21.56
O K	48.36	57.94
Al K	3.65	2.60
Si K	6.51	4.44
S K	2.46	1.47
K K	0.41	0.20
Ca K	23.55	11.26
Fe K	1.55	0.53
Totaux	<b>100.00</b>	

**Tableau 8. Microanalyse sur une ettringite.**

### 3.4. Essais mécaniques

Les caractéristiques mécaniques de ce prélèvement sont mesurées sur des échantillons de  $\phi=28\text{mm}$ . Seules les mesures sur les éprouvettes longitudinale et transversale

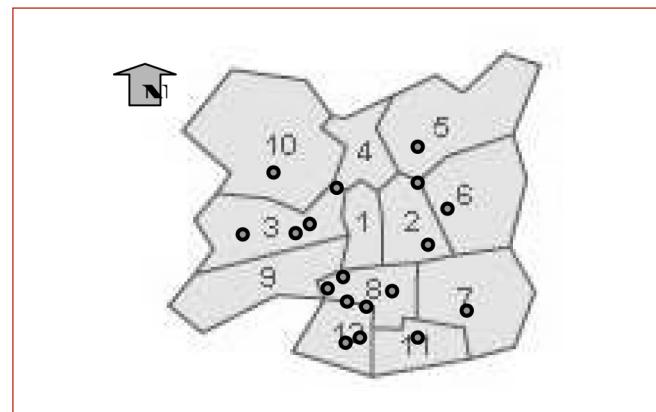
	$\sigma_c$ (MPa)	E (MPa)	$\sigma_t$ (MPa)
Longitudinal L	51.64	13 169	3.57
Transversal T	58.51	18 100	3.48
Radial R	19.15	7 156	

**Tableau 9. Résistances en compression, en traction et modules d'Young des échantillons.**

sont véritablement significatives au regard des standards (faces de l'échantillon R parfois non parallèles et parfois non planes). Ces résistances mécaniques reportées tableau 9, mettent clairement en évidence la qualité du matériau et confirment la faible dégradation (observations au MEB et réduction du pH sur une très faible épaisseur).

## 4. ANALYSES PRÉLIMINAIRES D'ENDOMMAGEMENT PAR LES INDICATEURS MÉCANIQUES

Après avoir dressé un bilan des pathologies identifiables sur un prélèvement, nous proposons ensuite une vue plus étendue en considérant une présentation des quelques propriétés mécaniques disponibles à partir les prélèvements déjà réalisés. La figure 19 montre schématiquement la localisation des zones analysées. A titre d'indication, le quartier 1, correspond à la partie la plus ancienne de la ville, où la solution unitaire est la plus fréquente et où les ouvrages maçonnés (non abordés dans le cadre du projet) sont nombreux. Le quartier 9 est plutôt industrialisé, tandis que les quartiers 5 et 6 sont bien occupés par un site universitaire. Le quartier 10 comprend une large activité hospitalière et universitaire.

**Figure 19. Localisation des échantillons déjà prélevés par quartier.**

### 4.1. Analyses de la contrainte limite de rupture en compression

Les valeurs de contraintes limites de rupture en compression sont présentées sur la figure 20 pour les trois directions, R, T, L. Sur cette figure, l'axe des abscisses symbolise un prélèvement dans une rue. La dispersion des résultats est imputable à la nature des matériaux formulés

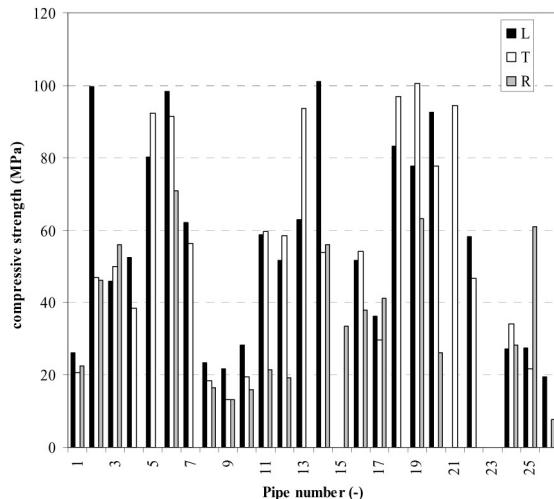


Figure 20. Histogramme des valeurs de la contrainte limite de rupture en compression dans les directions R, T, L.

au cours du temps et aux altérations. L'âge maximum de la population présentée est de 120 ans et le minimum est de l'ordre de 20 ans. La masse volumique apparente de la population est comprise entre  $1945 \text{ kg.m}^{-3}$  à  $2438 \text{ kg.m}^{-3}$ . La recherche d'information sur d'éventuels degrés d'anisotropie est proposée par l'intermédiaire de la relation existant entre les contraintes de compression des direction T et L, figure 21. Les résultats présentés montrent logiquement une bonne similitude et indiquent probablement que ces essais représentent bien la résistance à la compression de la partie centrale de l'épaisseur des conduites. Ces résultats ne présentent pas de comportement anisotrope particulier, même si la population reste à l'heure actuelle faible. En complément, l'analyse du lien existant entre les contraintes limites de compression R et T (ou L) est significatif de l'endommagement majeur dans la direction radiale. Très logiquement les niveaux de contraintes dans la direction R restent inférieurs aux contraintes des autres directions. Une anisotropie apparaît entre la direction R et les directions T et L.

#### 4.2. Analyse de la contrainte limite équivalente de rupture en traction (essai brésilien)

Pour la même population d'échantillons, l'analyse de la contrainte limite équivalente à la rupture en traction est présentée sur la figure 22. On remarque que l'essai brésilien est moins discriminant que le test de compression car les contraintes sont assez identiques pour les trois directions étudiées et pour cette population de prélèvements. Un comportement moyen à la rupture est mis en évidence entre les trois directions sans qu'un comportement anisotrope soit détecté entre les directions R et T (ou L). La différence de comportement observée entre les essais de compression et de traction peut s'expliquer par le fait que les épaisseurs endommagées dans la direction R sont assez faibles. Le test de compression apparaît beaucoup plus sensi-

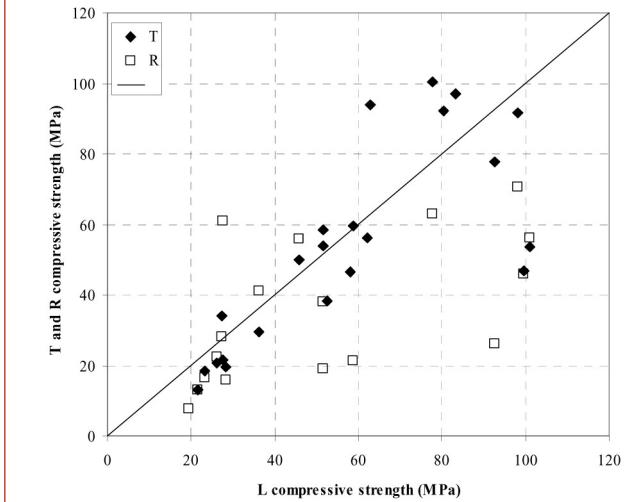


Figure 21. Evolution de la contrainte limite de rupture en compression dans les directions T et R en fonction de la contrainte dans la direction L.

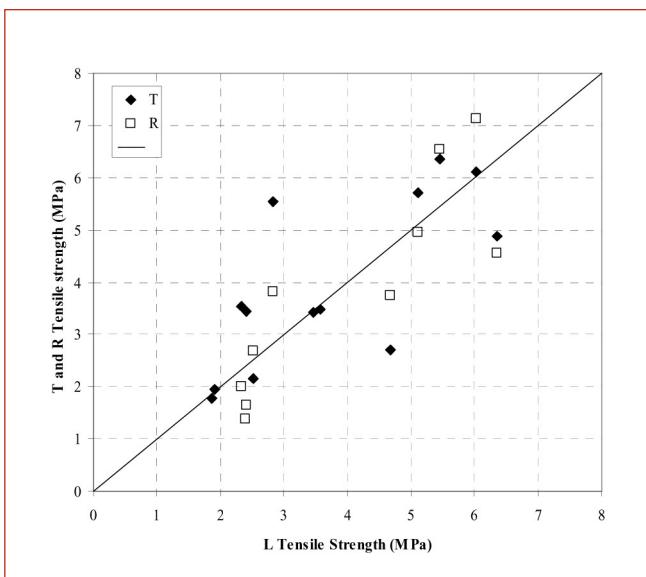


Figure 22. Evolution de la contrainte limite de rupture en traction (essai brésilien) dans les directions T et R en fonction de la contrainte dans la direction L.

sible à l'endommagement dans cette direction d'autant plus que l'endommagement est localisé, pour la grande majorité de la population étudiée, aux extrémités (face interne et face externe).

## 5. CONCLUSION

Dans cet article, nous avons présenté une étude en cours pour mettre en évidence l'état du réseau d'assainissement de la ville de Rennes. Un protocole expérimental a été mis en œuvre dans le but de construire une banque de données. La construction d'un échantillon statistiquement représentatif nous permettra alors d'exprimer des conclusions majeures. Les analyses réalisées sur les prélèvements de la canalisation du Boulevard Volnay mettent en évidence :

- Une basicité de la matrice cimentaire élevée qui induit la passivation des armatures en acier qui s'avèrent intactes.
- Les résistances mécaniques en flexion et en compression sont élevées avec un module d'Young élevé : ces éléments et les observations en microscopie électronique permettent de dire que la matrice est dense et peu poreuse.
- Les deux faces en contact avec les effluents et en contact avec le sol support sont carbonatées sur une très faible épaisseur : le pH est réduit sur quelques dixièmes de millimètre.
- Les carbonates observés au microscope électronique sont très finement cristallisés et semblent réduire la microporosité de surface.
- Certains granulats siliceux (silex) du béton présentent des figures d'alcali réaction mais ce phénomène doit être freiné du fait de la faible porosité et de l'apport d'eau qui ne peut que pénétrer très lentement : ce phénomène mérite d'être précisé par la mesure de la porosité et de la capillarité.

Certains éléments exogènes sont présents : Brome, Chlore ou chlorures, Sulfates de fer notamment. Ces derniers éléments pourraient être liés à la présence ancienne d'une clinique qui, à l'époque, devait rejeter nombre d'éléments dans la canalisation.

La présentation des premiers résultats obtenus sur les propriétés de rupture mécanique montre logiquement la pertinence du test de compression pour distinguer un niveau d'endommagement. Cependant, le niveau d'endommagement est pour le moment comparé aux propriétés mécaniques de la zone centrale des conduites supposée moins endommagée que les extrémités. Il convient, pour la suite de ce travail, de mettre en évidence les états de références adéquates pour traduire l'évolution de l'endommagement.

## 6. BIBLIOGRAPHIE

De Belie N., Montenya J., Beeldensb A., Vinckec E., Van Gemertb D. and Verstraete W., Experimental

research and prediction of the effect of chemical and biogenic sulfuric acid on different types of commercially produced concrete sewer pipes, Cement and Concrete Research, Volume 34, Issue 12, December 2004, Pages 2223-2236.

Grantham M. G., Jauberthie R., Lanos C., Concrete solutions : proceedings of the second international conference on concrete repair, St Malo, France, 27-29 June 2006

Jauberthie, R., Rendell, F. ; « Physicochemical study of the alteration of concrete exposed to ammonium salts. »; Cement and Concrete Research, v 33, n 1, 2003, pp. 85-91.

Le Bellego C., Pijaudier-Cabot G., Gérard B., Dubé J.F., Molez L., Coupled Chemical and Mechanical Damage in Calcium Leached Cementitious Structures, J. Engrg. Mech. ASCE, Vol. 129, pp. 333-341, 2003.

Le Gauffre P., Joannis C., Breysse D., Gibello C., Desmulliez J.J., Gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement urbains: guide méthodologique (RÉRAU), Lavoisier éditeur, 2004.

Molez, 2003, Comportement des réparations structurales en béton : couplages des effets hydriques et mécaniques, thèse de doctorat de l'ENS-Cachan et Ph.D thesis de l'Université Laval, Québec, Canada.

Rendell F., Waste and wastewater project development, 1999, Thomas Telford Publishing.

Rendell F., Jauberthie R., Grantham M., Deteriorated concrete: inspection and physicochemical analysis, 2002, Thomas Telford Publishing.

Rendell F. Jauberthie R., The deterioration of mortar in sulphate environments. Construction and Building Materials, 1999, 13, pp. 321 – 327.

Vollertsen J, Nielsen AH, Jensen HS, Wium-Andersen T, Hvilsted-Jacobsen T, Corrosion of concrete sewers—The kinetics of hydrogen sulfide oxidation, Science of The Total Environment, Volume 394, Issue 1, 1 May 2008, Pages 162-170.