

Retraitement en place des chaussées urbaines: l'expérience Nantaise, un projet de R&D

Congrès INFRA – Montréal – 19/21 novembre 2012



Yves Brosseaud - Directeur de recherche - l'IFSTTAR Nantes (ex LCPC)



Michèle St Jacques – Professeur – ETS Montréal



IFSTTAR

Yves.brosseaud@ifsttar.fr



sommaire

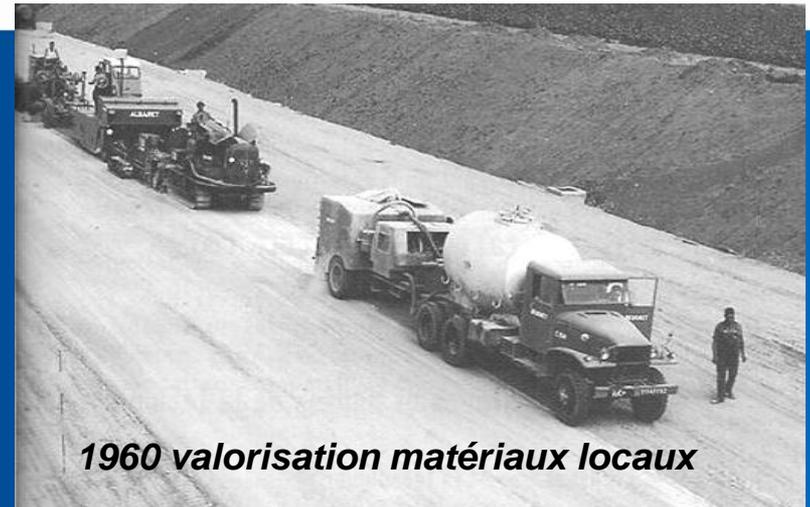


- Généralités sur le retraitement en place
- Particularités en milieu urbain
- Premières expériences en agglomération nantaise
- Un chantier en cœur de ville : Cours des 50 otages
- Bilan environnemental
- Enseignement et Programme de recherche
- Conclusion
- Remerciements

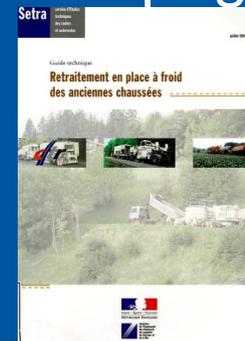


Un principe ancien, une technologie nouvelle

Principe du traitement hydraulique



- Traitement sol 1955-60
- Traitement chaussée au ciment (ARC 600 : 1985)
- Plus de 10 Millions de m² (ARC 700)
- Tous trafics T5 au T0, climats, site (+ rase campagne)
- Valorisation technique : GT Setra 2003



Guide technique : recommandations

- - études (carottages (2*ville), analyses matériaux, résistance vs dosage liant hydraulique routier (HRB))
 - Urbain : auscultation radar : épaisseurs hétérogènes et localisation réseaux
 - Reconnaissance adaptée (fréquence et localisation)
 - Matériaux : classes M1 M2
- - matériels (classification des fonctions essentielles)
 - Classement de performances : R1, R2
- - hypothèses des performances pour dimensionnement
- - modalités d'exécutions
- - contrôles de qualité



Matériel très performant- classe matériau



- ARC 700 / ARC DOSAGE



Classe R1 /GTF

H : homogénéité du produit élaboré
 E : épaisseur = maîtrise et respect
 P : puissance de fraisage
 I : injection de liquide dans la cloche de malaxage
 L : dosage de liant sous forme d'émulsion

Coefficient HEPIL

3
3
3
3
3

HEPIL = 33333

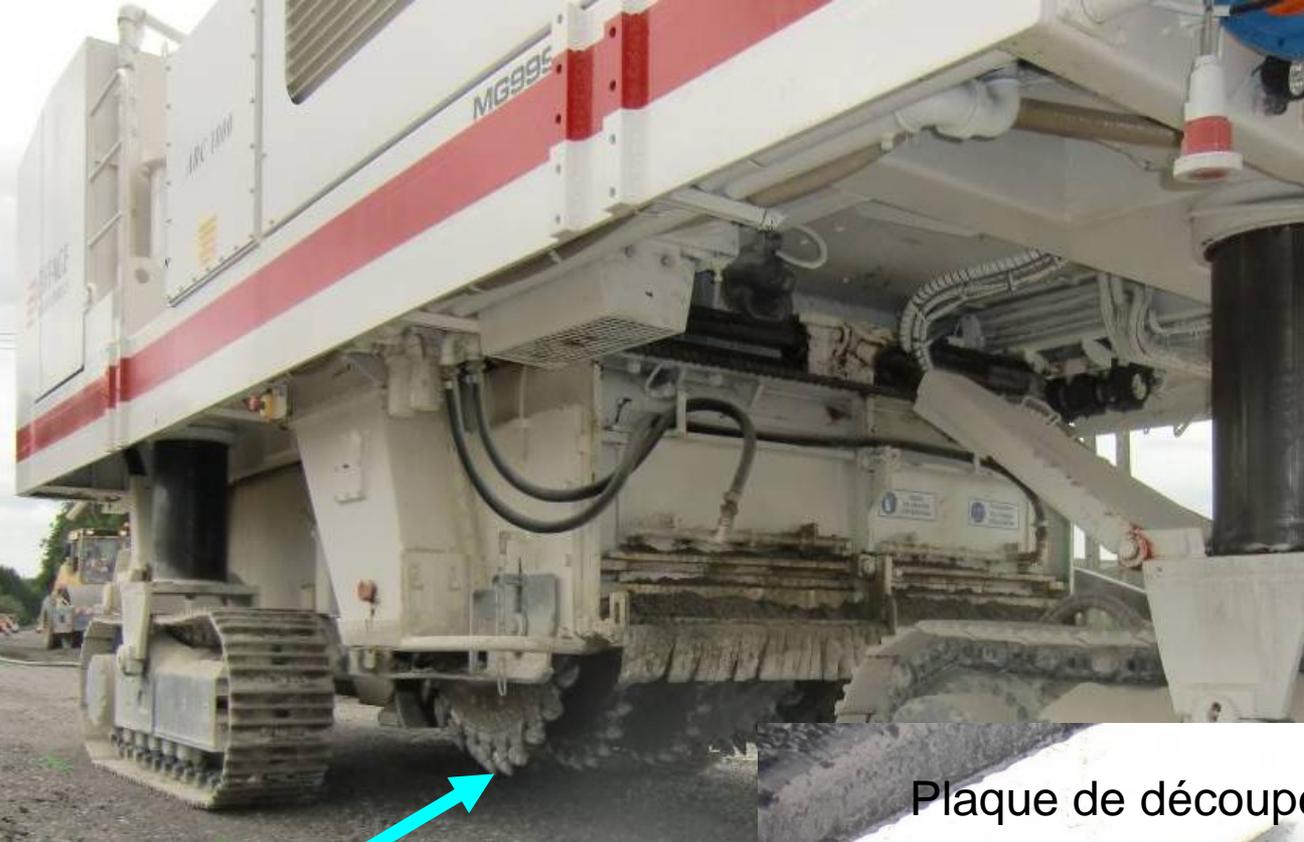
Matériels conçus: 1985
Surfaces cumulées: 11 Mm²
Réalisation 2011: 0,5 Mm²
Ouest : 100 000 m²
Urbain : 90%



Performance du matériel utilisé / classique

Matériels Critère	Pulvimixeur (classique)	ARC 700 + ARC dosage
Puissance	500 CV	750 CV
Largeur de travail	2,40 m	2,05 m
Dosage en liant routier <i>précision</i>	Epandeur type « Panien » <i>traitement de sol</i>	Vitesse Arc Dosage asservi ARC 700 <i>centrale de traitement fixe (GTLH)</i>
Dosage en eau <i>précision</i>	Citerne Arroseuse <i>traitement de sol</i>	Injection contrôlée dans le malaxeur <i>centrale de traitement fixe</i>
Homogénéité mélange	Augmentation du nombre de passages	Malaxeur longitudinal, centrale GTLH homogénéité au premier passage
Profil fond de forme	Non	Oui : par lame de pression
Homogénéité profil en travers du traitement	Non	Oui : vis répartition en sortie malaxeur
Régularité profondeur Couche traitée	Appréciee l'enfoncement de la « cloche »	Dispositif de contrôle – asservissement palpeur / pendule





Rotor de décohesion



Plaque de découpe et lissage, malaxeur

Aspect de la mouture : fine et homogène



Table de pré-découpe

Nivellement final indispensable



Aménagement matériel en milieu urbain



- Un système de brumisation évite l'envol des fines, permet de travailler en milieu habité et sous trafic sans risque de gêne occasionné par la poussière.



Traitement des émergences

- 2 techniques, suivant densité des émergences et profondeur des réseaux :
 - 1 - enfouir les émergences avant passage de la machine sous la tangente du rotor, puis remise à niveau après passage.
 - 2 - terrassement des matériaux situés à proximité des regards, traitement au passage de la machine en zone déportée, puis remise en œuvre dans le délai de maniabilité du liant (4 à 6 heures).

Note : ces sujétions existent aussi dans les travaux d'excavation classiques



Chemin du Vigneau St Herblain

- Solution de base: élargissement CdF 35 cm (1 m) / renforcement :
 - Scarification ancienne chaussée (enrobés – GNT ép. Variable – Sol support)
 - Fondation – reprofilage / fin réglage : **GNT de 10 cm**
 - Base : **GB 2 / rabotage de 15 cm**,
 - Roulement **BBSG 0/10 de 6 cm**
- Dim : PF 2 (50MPa), 50 PL/j, 20 ans (desserte de ZAC), taux 2%
- Reconnaissance matériaux:
 - épaisseurs,
 - granulométries (grave sableuse 20% fines)
 - argilosités (VBs < 0,5)compatibles avec un retraitement de chaussée de classe IV (GT) .
 - rechargement préalable en GNT, respect des niveaux.
- *Etude de traitement*
 - *matériaux retraités classé M1 : mélange BB, GNT, tout venant*
- Variante:
 - **PROCEDE de RETRAITEMENT** : 30 cm (4% LHR)+ 6 BBSG
 - Meilleure résistance au gel (/base)

Rue du stade (solution base en retraitement)

Trafic : 100 PL/j, 20 ans, Taux 2%, CAM 0,8

Ev 2 > 50 Mpa, CdF GNT 2

Trafic compris entre 85 et 150 Pl/jour.

Traitement mixte* sur 20 cm :

3% Rollac (LHR)

2% Emulsion spéciale (pH neutre, surstabilisée)

*car peu enrobé

Matériau classe M1 (DCE – GT Ret^t)

BBSG 0/10 : 6 cm



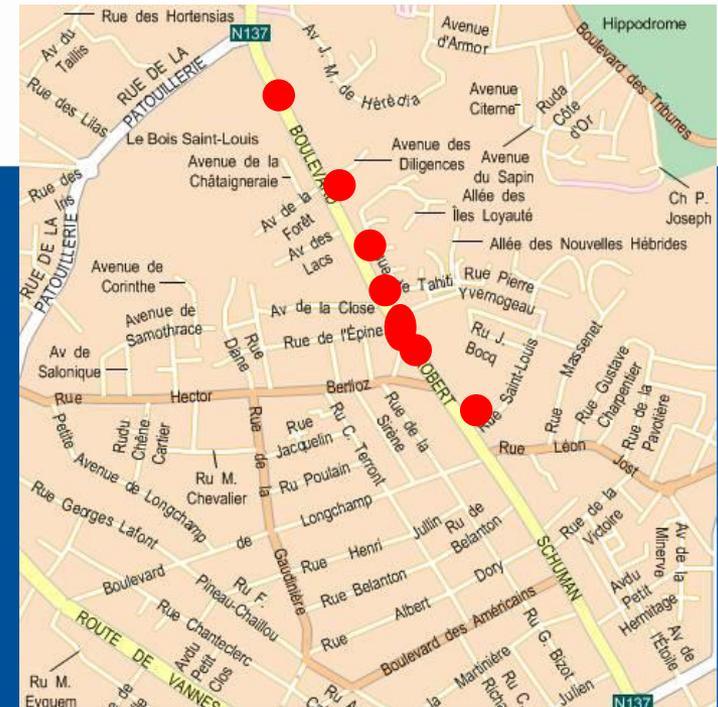


Rue du stade en travaux



B^d Schuman - Nantes

- Carottages ancienne chaussée



Enrobés de surface : 5 à 17 cm
Pavés sur lit de pose 2/7 carottes
Imprégnation 10/40
GNT épaisseurs variable



Boulevard Schuman Nantes

- 
- Solution de base : **5 BBSG + 23 GB3 + 30 GNT**
 - Variante : **5 BBME + 7 EME + 28 Arc 700**
 - Hyp Dim : **400 PL/J** ; Taux 2% ; **Durée 25 ans, PF2**
 - K canal 1,74 ; CAM 0,8 ;
 - PL cumulé : **4,5 Millions**
 - Apport important GNT (remplacement des pavés)
 - Dosage LHR : 4,0%
 - Matériau M1 : **E 20 GPa** ; 1/b 15

Réalisation des travaux – plan de circulation

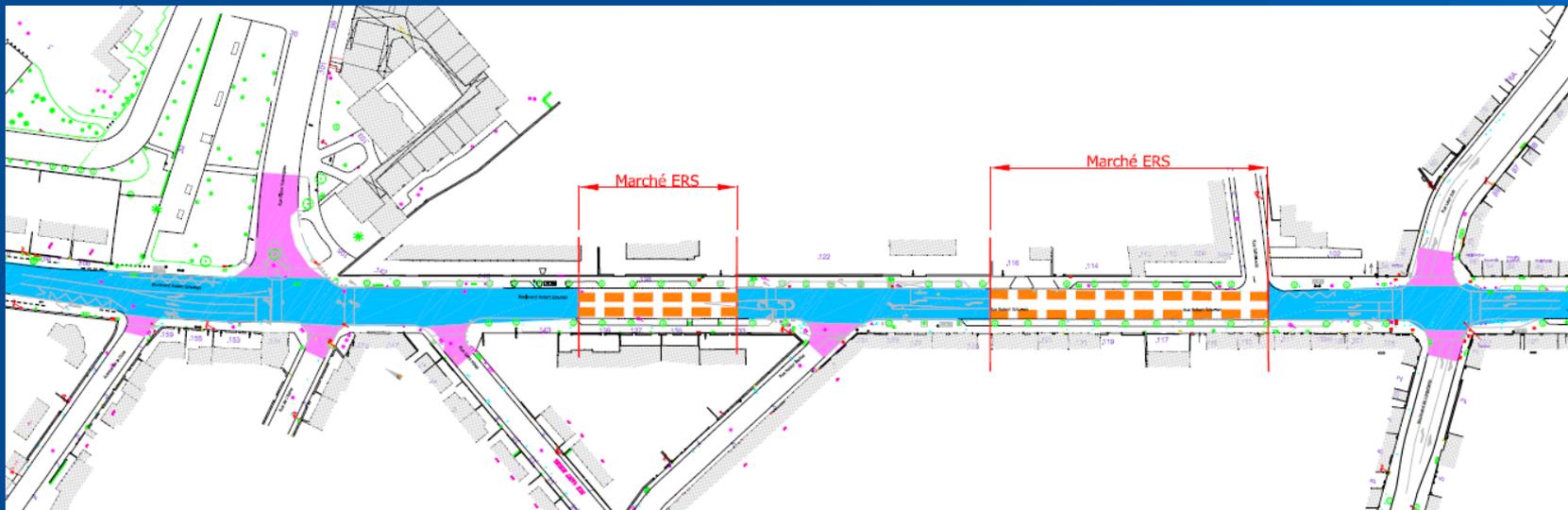
Phase 4 (22 Août au 2 Septembre 2011)

Travaux

-  - Rabotage accès voies transversales
-  - Application des revêtements de surface chaussée
 - Pose des îlots centraux des giratoires et îlots situés sur l'axe Schuman
 - Signalisation horizontale
-  - Revêtement sur zone "Marché ERS" à réaliser en même temps

Circulation

- Voir phase 3
- Pendant l'application des enrobés de surface, circulation interdite dans les 2 sens prévue sur une période de 1 semaine
- Déviation sens Nord-Sud par Patouillerie (voir phase 3)
- Déviation sens Sud-Nord par Bd Lelasseur, rte de Vannes, rue de la Patouillerie
- Remise en circulation dans les 2 sens au plus tard, le 2 septembre 2011 (au soir)



Interruption temporaire de circulation sur 2 jours par tronçon



Déflexion indicateur

Couche	Nbre	Moyenne	ET	D caract.
Arc 700	26	39	22	83
BBME	20	33	10	65

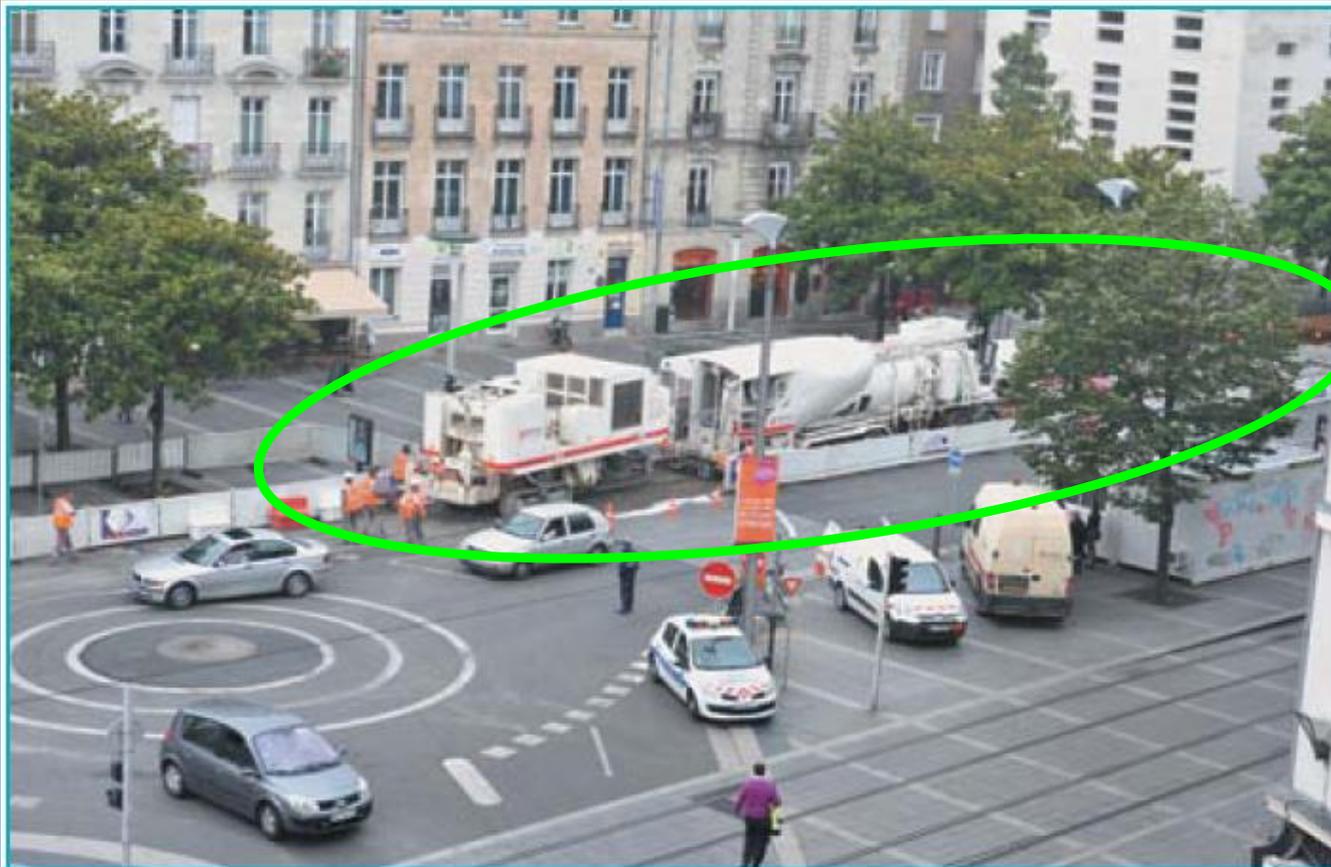
Amélioration de la portance de la chaussée et de son homogénéité

Augmentation à terme avec la prise hydraulique du LHR

Bilan très satisfaisant de ces trois chantiers d'essai.
Solution de base pour un chantier : «cœur de ville»



Quand ils arrivent en ville ...



Lors des travaux, les bus continuent d'emprunter le Cours des 50 Otages mais sans s'y arrêter, et les tramways circulent normalement. **Routes 121**



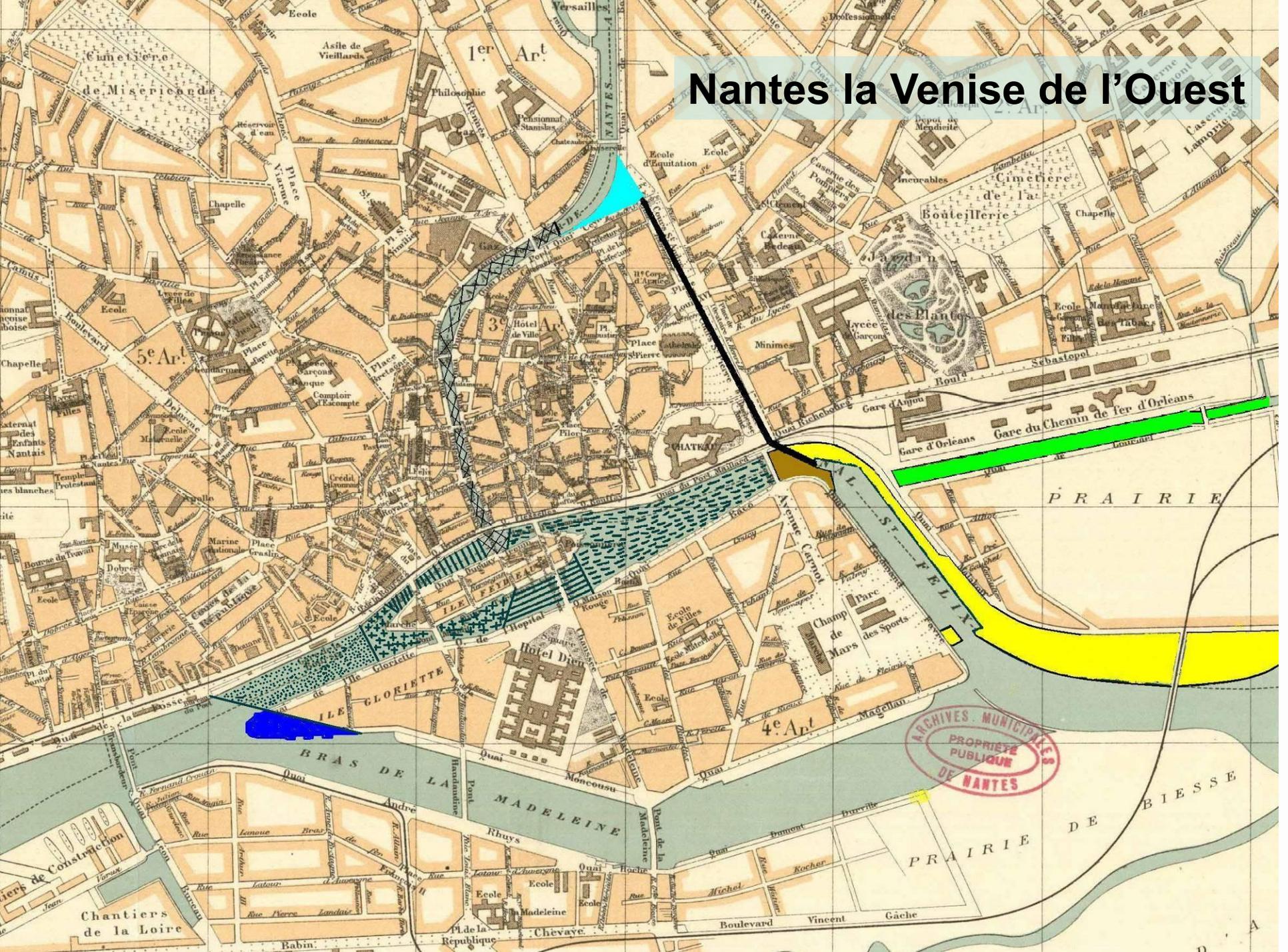
Un chantier au cœur de Nantes



Cours des 50 Otages à Nantes (Loire-Atlantique) : vue aérienne de l'ensemble du chantier de retraitement en place à froid au liant hydraulique routier.

Routes 121

Nantes la Venise de l'Ouest



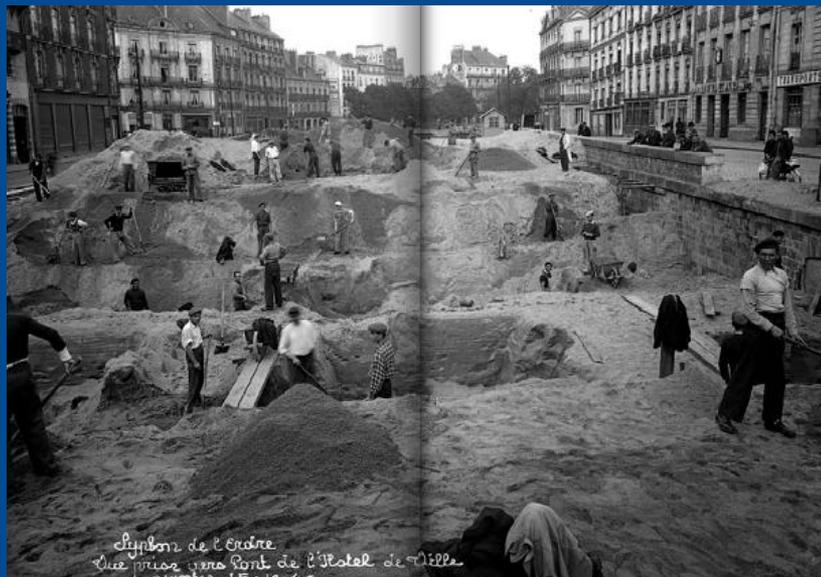
Cours des 50 otages : qq notions hydrologiques



Le cours



Les inondations





**Les ponts de l'Erdre avant les comblements;
l'actuel cours des 50 Otages.**



La place de l'Ecluse bombardée.

Bombardements 16 et 23 septembre 1943
Nantes ville martyre de la libération

**Instabilité des fondations
La maison la + tordue**



Construit sur l'ancien lit comblé de l'Erdre, le cours des 50 otages tient son nom d'un épisode tragique de l'histoire de Nantes: en 1941, après l'assassinat du felkommandant, 50 résistants nantais furent arrêtés et 48 d'entre eux fusillés par les forces d'occupation allemandes, dont Guy Mocquet 17 ans (lettre à mes parents).



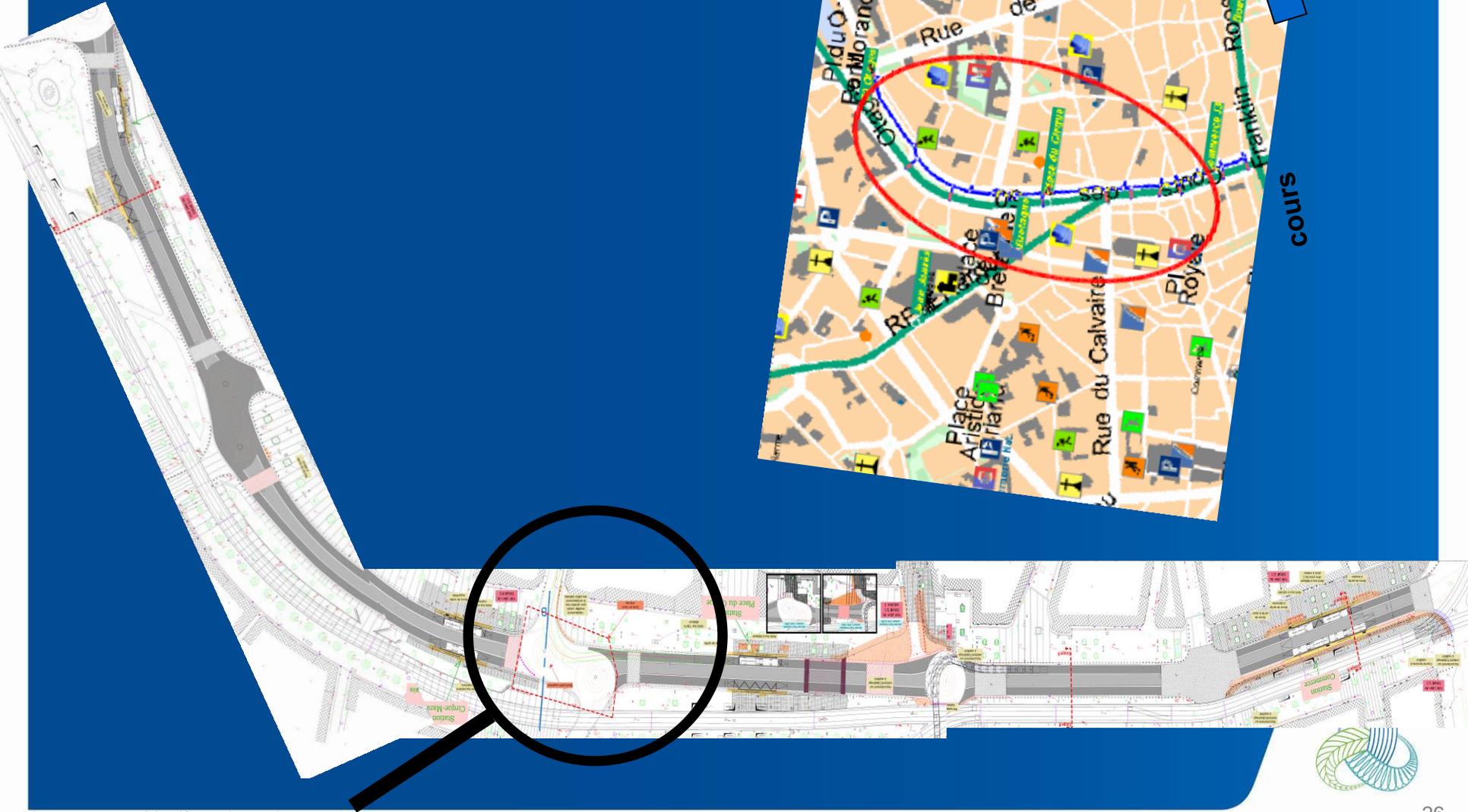
Chantier : cours des 50 otages

- Renforcements pour :
 - 30 ans
 - 900 bus / jour / sens
 - Confort et sécurité
- Caractéristiques :
 - 6 000 m²
 - Largeur voie 11m
 - Profondeur trait^t.: 32 cm
- Hypothèses Dim^t. :
 - Agressivité : 1* (0,8 classique)
 - $K_{\text{canalisation}}$: 1,3** section courante / 2** arrêts (quai)
 - Taux augmentation: 2%
- Contraintes sévères :
 - Sous circulation
 - Remise en service : rapide
 - Emergences
- Moyens :
 - Traitement en place au LHR
 - Machines spécifiques
 - Performances adaptées
 - Structure « mixte »

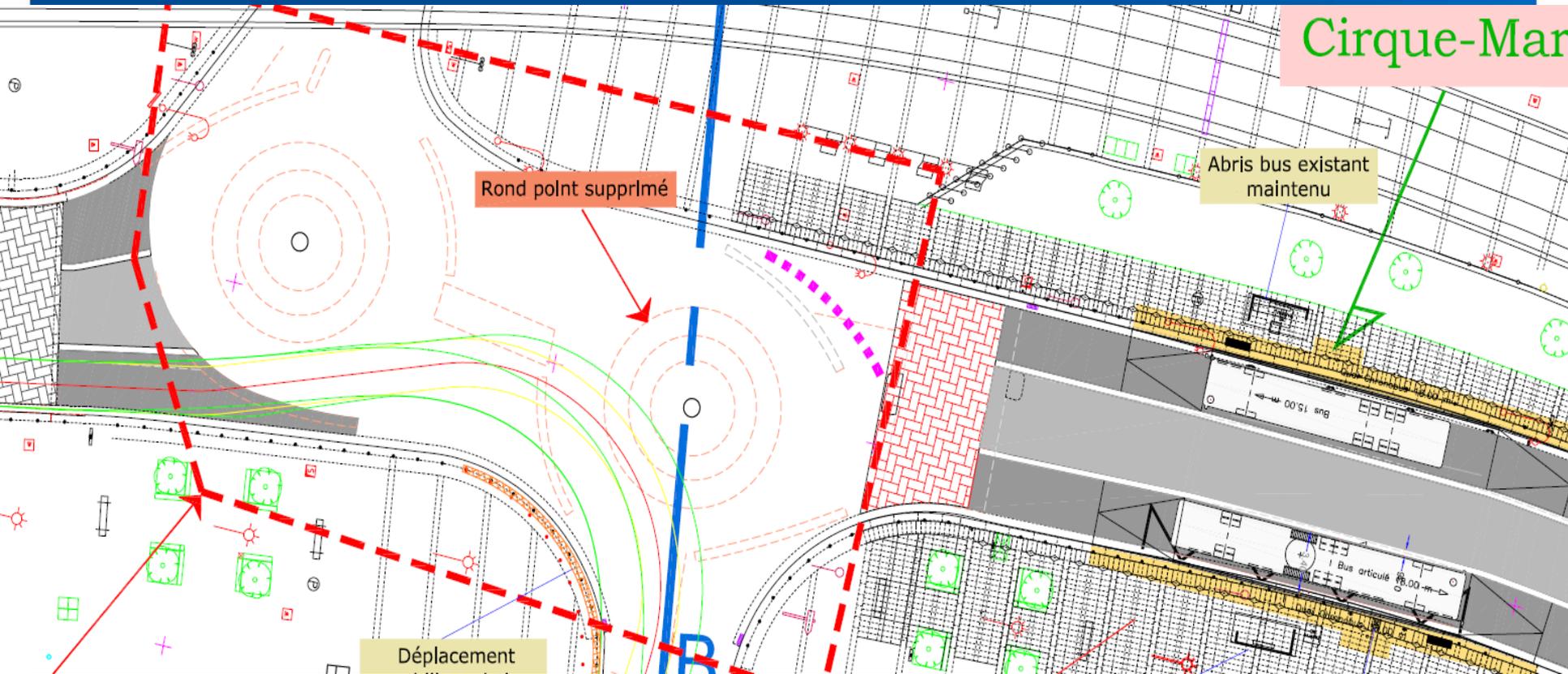
* Valeur maxi pour bus articulé (guide CERTU 2005)**



Plan du cours



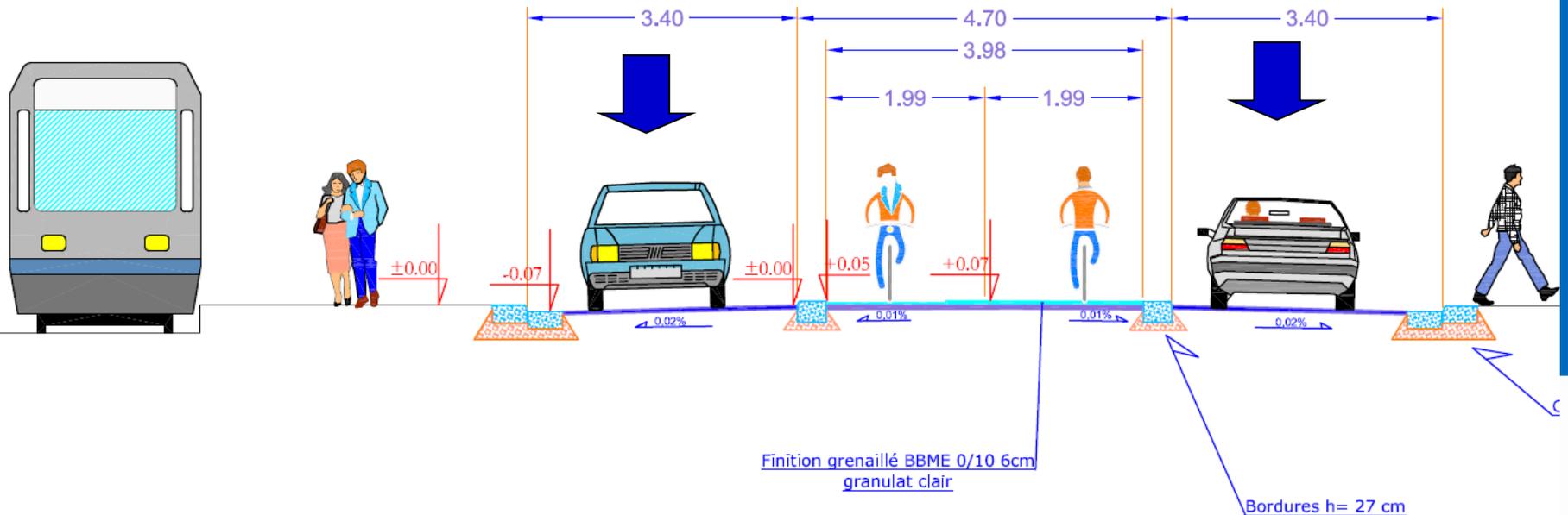
Complexité des tracés (réduire delta vitesse inter objets)



Chaussée de 11m

- «Route» ramenée à 3,5m
circulation Bus très canalisée

Coupe B section courante



Reconnaissance structure et étude préalable

- Sondages carottés (1/300m):
 - Sous sols, plateforme,
 - Matériaux disponibles, qualités
 - 30 cm matériaux bitumineux
 - État correct
- Fraisage :
 - éliminer 15 cm surface (disponible recyclage)
 - conserver 15 cm , améliorer prise-souplesse
 - pas de décohéssion des sols tassés



BB 0/10 qq. GB 0/14



Structure en réhabilitation

	Base	Variante Courante	Arrêts
BBSG3	6 cm	BBME3 5 cm	6 cm
GB3	16cm	EME2 8 cm	10 cm
Traitement PF 2 (50 MPa)	32 cm	32 cm	31 cm

- ARC 700 R1 / M1 : 31 cm



Dimensionnement

12,7 Millions PL cumulés

16,5 Millions PL cumulés équivalent 130 kN

niveau calcul	EpsilonT horizontale	SigmaT horizontale	EpsilonZ verticale	SigmaZ verticale
----- <i>surface (z=0.000)</i> -----				
h= 0,050 m	0,000m	8,5	0,200	13,0
E= 11000,0 MPa				0,659
nu= 0,350	0,050m	7,6	0,271	27,1
				0,638
----- <i>collé (z=0,050m)</i> -----				
h= 0,080 m	0,050m	7,6	0,339	19,4
E= 14000,0 MPa				0,638
nu= 0,350	0,130m	2,6	0,217	16,2
				0,430
----- <i>collé (z=0,130m)</i> -----				
h= 0,320 m	0,130m	2,6	0,209	16,1
E= 20000,0 MPa				0,430
nu= 0,250	0,450m	-20,0	-0,515	12,4
				0,005
----- <i>collé (z=0,450m)</i> -----				
h infini	0,450m	-20,0	0,001	77,8
E= 50,0 MPa				0,005
nu= 0,350				

- Performances à long terme Mat Traité E = 20 GPa
- Faible tassement du sol : 78 µdef (adm 318)
- Faible contrainte ds Mat Traité : - 0,515 MPa (adm 0,532)
- Faible déformation EME : 2,6 µdef (compression)



Réalisation de la base traitée en place



Vue aérienne de l'atelier mobile de retraitement en pleine action.



Le rotor de l'atelier mobile de retraitement permet d'assurer une bonne homogénéité du matériau et une profondeur homogène du malaxage.



Organisation exemplaire (savoir faire)

- Gestion très rigoureuse du chantier:
 - Préparations
 - Approvisionnements
 - Travaux sous circulation temporaire, remise en service



La livraison « juste à temps » du liant hydraulique est faite par gros porteur de 25 tonnes en centre-ville, pour éviter toute rupture d'approvisionnement.



Réalisation de la base traitée en place

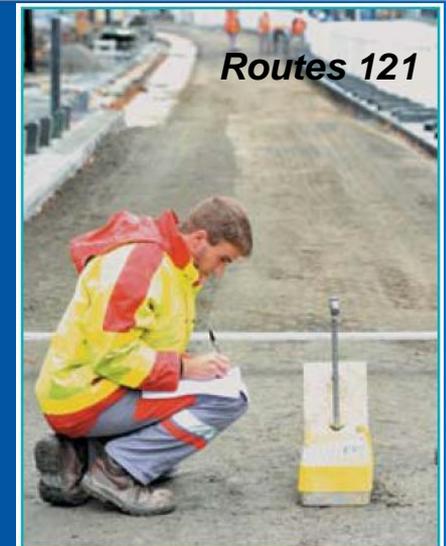


La niveleuse intervient juste après le passage de l'atelier mobile de retraitement. **Routes 121**



Routes 121

La phase de compactage suit le passage de la niveleuse.



Routes 121

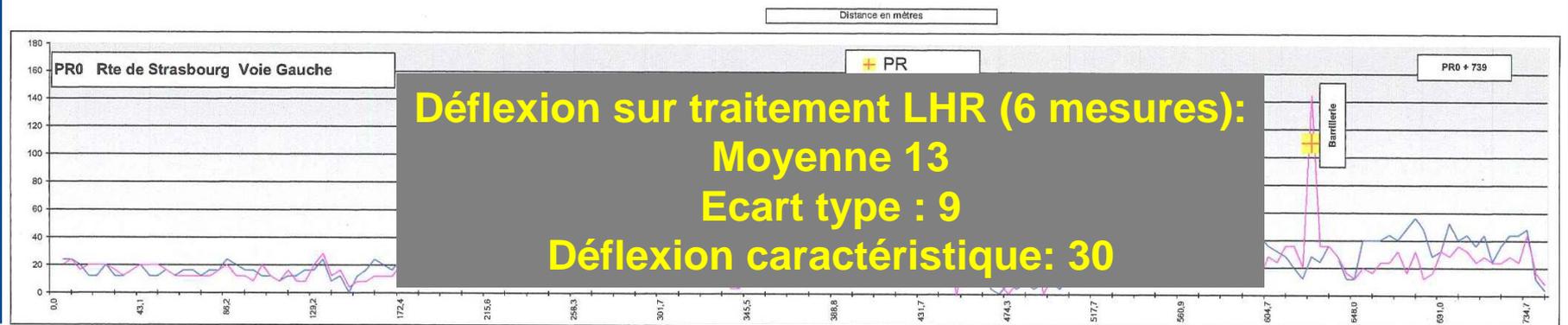
La mesure de déflexion sert à vérifier la bonne montée en résistance des matériaux traités.



Déflexion (indicateur qualité globale)

voie	Rive	ET	Caract.	Axe	ET	Caract.
Droite	19	9	38	17	9	36
Gauche	28	14	57	21	14	50

Mesures sur ancienne chaussée



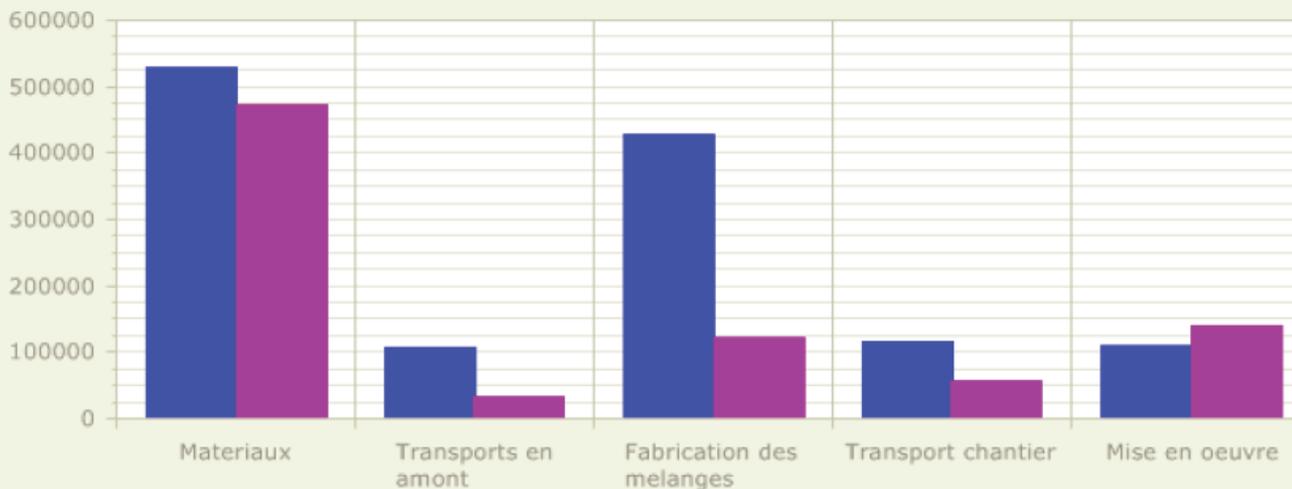
Comparaison environnementale

Exemple : chemin du Vigneau



Solution de base	Retraitement de chaussée à l'ARC 700
Géotextile	couche de fondation GNTb 0/31.5
Couche de forme GNT 0/60	retraitement ARC700
couche de fondation GNTb 0/31.5	enduit de cure
monocouche	BBSG 0/10
Grave bitume	
BBSG 0/10	

MJ Consommations comparées en énergie procédé



- 36%

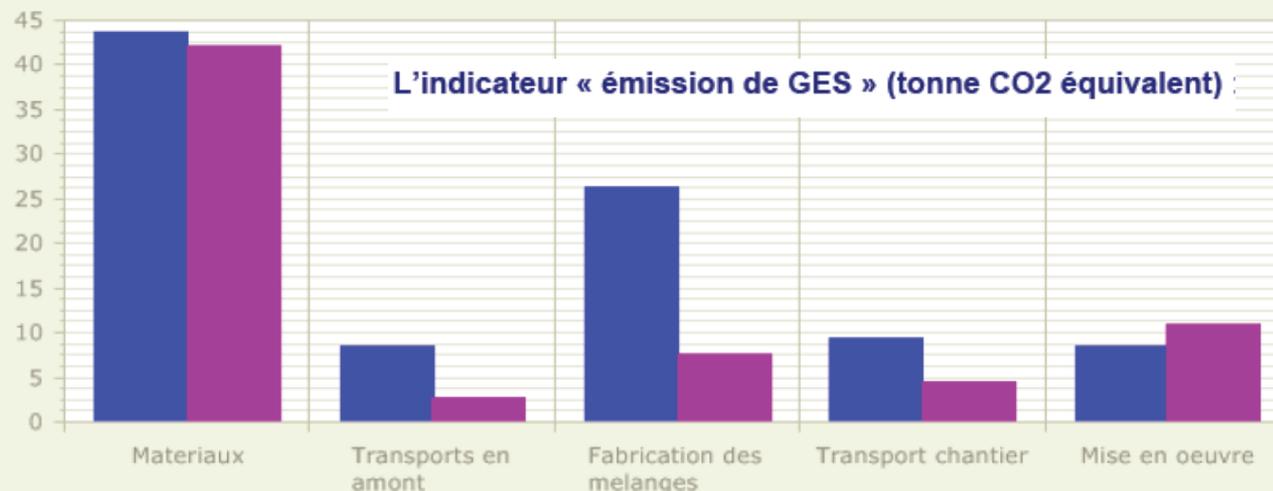
■ Solution de base
■ Retraitement de chaussée à l'ARC 700



Comparaison environnementale

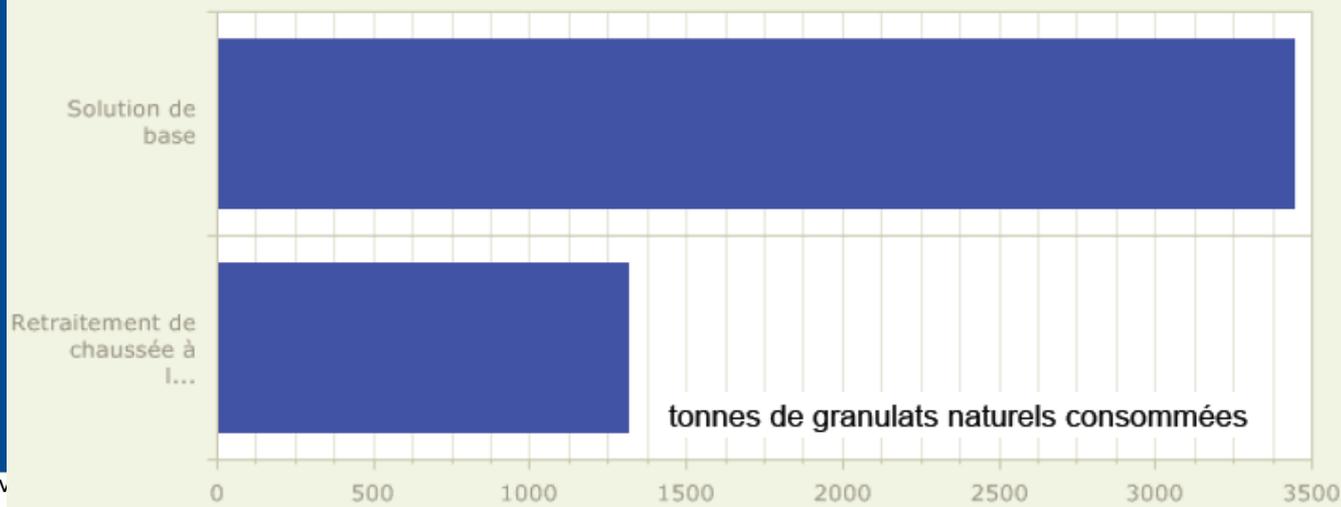
Exemple : chemin du Vigneau

Emissions de Gaz à Effet de Serre comparées



- 30%

Consommations totales de granulats naturels comparées



- 62%



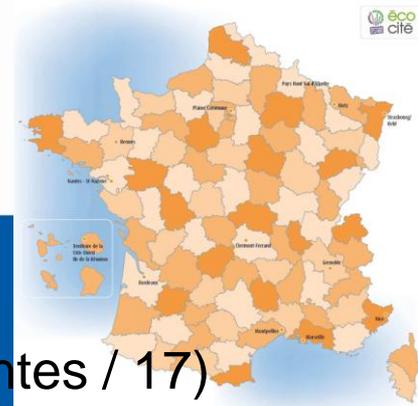
Bilan technico-environnemental (et économique)

- Utilisation optimale des matériaux du site
- Diminution
 - besoins en matériaux pour le chantier
 - transports nécessaires
 - facture énergie
 - émission CO²
 - risques insécurité aux abords du chantier (train compact)
- Réduction
 - fatigue des réseaux environnants (- camions excavation/apport)
 - gênes des usagers et riverains (*indicateur*)
 - délais d'exécution des travaux chaussées (*indicateur*)



Projet de recherche national ECO-CITE

Nantes - St Nazaire - Eco.Métropole : construire la ville autour du fleuve



- Financement d'une recherche sur le retraitement (1 Nantes / 17)
- Bilan du retour d'expérience, identifier les points durs:
 - Reconnaissance terrain, représentativité
 - Adaptabilité à l'urbain : réseau, voisinage, encombrement,...
 - Pistes d'amélioration: matériels plus compacts, calage dimensionnement (**qualité de plateforme meilleure**)
 - Guide retraitement spécificités urbaines
 - Convaincre, création d'indicateurs pertinents
- Expérimentation
 - Traitement mixte : LHR + Mousse bitume
 - Instrumentation structure par capteurs (**suivi court, moyen terme**)
 - Comparaison des modes de retraitement
 - Optimisation des revêtements



le développement des grands territoires urbains nécessite aujourd'hui une plus grande cohérence des actions, et que celles-ci s'exercent à des niveaux et à des échelles multiples.



Conclusion

- Bilan très positif, même en condition difficile
 - climat : travaux en période de gel
 - environnement très contraint
- Adapté à l'urbain, moyennant:
 - savoir faire, organisation exemplaire
 - matériels performants, études pertinentes
- Précaution particulière sur l'uni (forte épaisseur)
- Solution de base
- Développement urbain significatif (jusqu'à 80%)



Remerciements à

- RABILLER Daniel – Ingénieur, Nantes-Métropole
- DUMONT Hervé – Directeur Technique, Eiffage Travaux Publics
- RIVIERE Jean Marcel – Ingénieur - produits spéciaux Eiffage
- VIGNEAU Alain – Chef agence région Ouest - Eiffage
- CANTE Didier – Ingénieur chef, Pôle Nantes Ouest – Nantes
- POMMELET Pierre - Ingénieur chef, Pôle Loire Chézine - Nantes
- GERAIN François – Responsable Infrastructures urbaines – SCE
-
- ST-JACQUES Michèle - Professeure ÉTS - Montréal – Canada

Merci de votre attention

Ifsttar Matériaux

yves.brosseaud@ifsttar.fr
www.ifsttar.fr



St-Jacques M. et Brosseaud Y., INFRA 2012

