

A64 - TARBES

RENFORCEMENT D'UNE BUSE PAR BÉTON PROJETÉ

INNOVATION



Dossier d'information
Août 2020

> En partenariat avec Freyssinet, VINCI Autoroutes innove et agit pour garantir la transparence de son infrastructure



SOMMAIRE

1 MAINTENANCE & ENTRETIEN DU RÉSEAU : UN ENJEU MAJEUR	4
▪ Le réseau VINCI Autoroutes Ouest	
▪ Les ouvrages d'art, gage de transparence de l'autoroute	
2 LES BUSES MÉTALLIQUES	7
▪ Un peu d'histoire	
▪ Le fonctionnement	
▪ La surveillance continue, socle d'un plan de maintenance optimal	
▪ Les principales pathologies	
3 L'INNOVATION	10
▪ La buse du passage agricole 1474	
▪ Le BFUP : un procédé éprouvé...	
▪ ... tout récemment développé pour une utilisation en voûte	
▪ Une première sur le réseau VINCI Autoroutes Ouest	
▪ De multiples bénéfices	
4 LA MISE EN ŒUVRE	15
▪ Une centrale à béton mobile, développée pour le chantier	
▪ Un phasage précis	
▪ Un chantier respectueux de l'environnement	



Dans le cadre du programme d'entretien et de maintenance de son infrastructure, VINCI Autoroutes procède actuellement à la mise en œuvre d'un procédé innovant, mis au point par l'entreprise Freyssinet pour renforcer un passage agricole situé sous l'autoroute A64 dans le secteur de Tarbes. Le déploiement de ce procédé sur ce type d'ouvrage présente de nombreux avantages techniques et pourrait répondre aux enjeux de préservation de la transparence notamment écologique de l'autoroute.

1 | MAINTENANCE & ENTRETIEN DU RÉSEAU : UN ENJEU MAJEUR

La gestion des autoroutes concédées s'exerce dans le cadre précis des contrats de concession passés avec l'État concédant, qui s'assure que l'ensemble des concessionnaires autoroutiers appliquent strictement les normes permettant de garantir la sécurité.

Concrètement, les contrats de concession comportent des obligations d'entretien et de maintenance des infrastructures avec notamment des indicateurs de performance pour les ouvrages d'art et les chaussées.

Les sociétés d'autoroutes sont ainsi incitées à entrer dans un schéma vertueux en planifiant l'entretien du patrimoine autoroutier tout au long de son cycle de vie. Dans cette optique, elles peuvent s'appuyer sur les multiples données accumulées au fil du temps sur le comportement de l'infrastructure et des ouvrages autoroutiers.

Chez VINCI Autoroutes, ces données, pour les plus anciennes, remontent aux années 1980. Elles permettent par exemple, pour des ponts de conception identique, d'anticiper le vieillissement des ouvrages les plus récents en analysant les retours d'expérience issus des plus anciens – sachant que l'on dénombre plus de 6 000 ouvrages sur le réseau VINCI Autoroutes.

De la même manière, l'analyse des données du passé permet de prévoir précisément la date optimale de réfection d'une chaussée, en prenant en compte à la fois l'historique du trafic sur la section concernée, la technique mise en œuvre lors de la précédente campagne de rénovation ainsi que les types de matériaux utilisés et leur provenance.

> Le réseau VINCI Autoroutes Ouest



A89 - Viaduc du Chavanon



A10 - Viaduc de la Dordogne



A20 - Viaduc de la Rauze

> Les ouvrages d'art, gage de transparence de l'autoroute

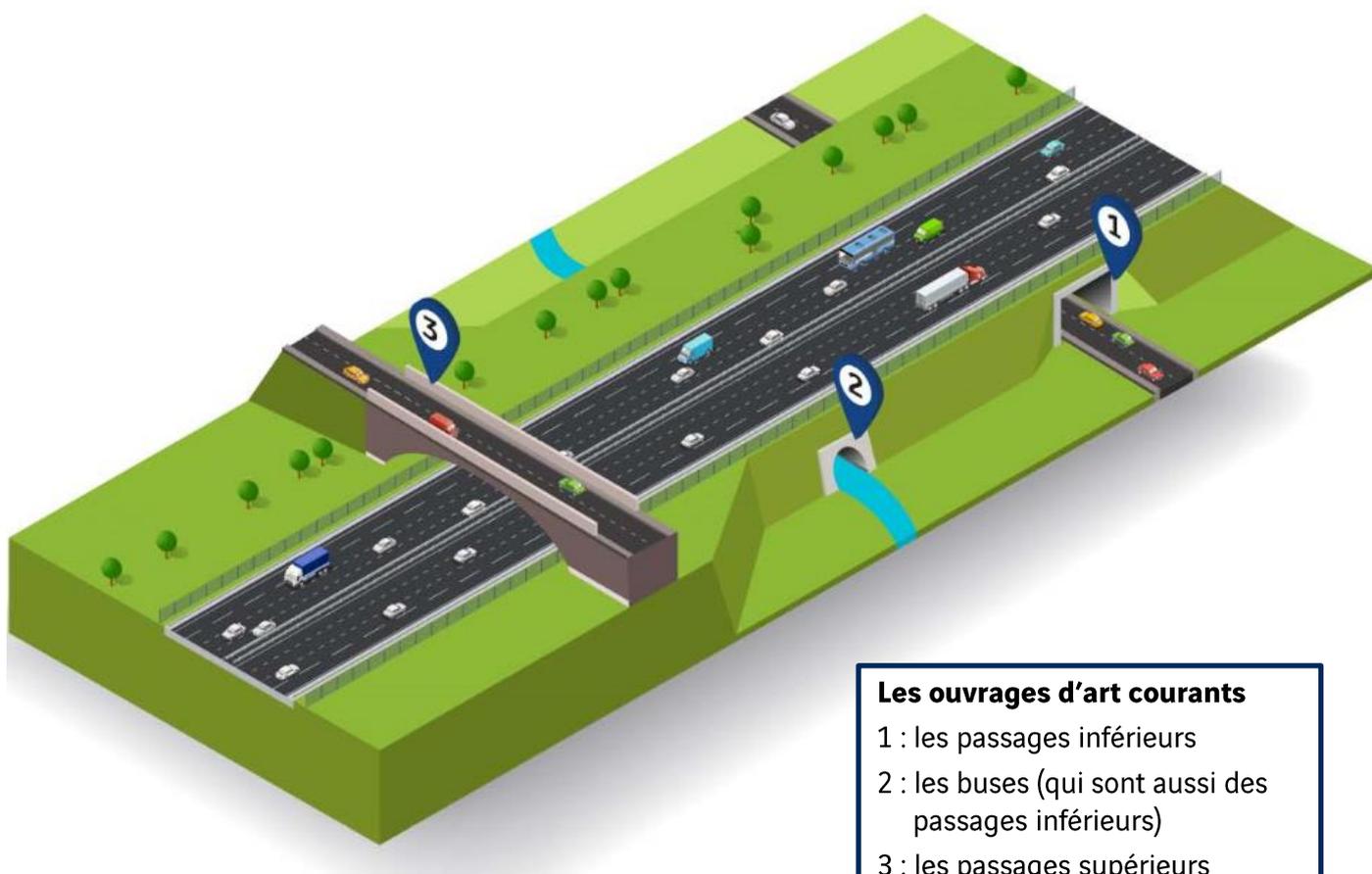
Le réseau VINCI Autoroutes Ouest compte pas moins de 2 500 ouvrages d'art répartis en deux catégories :

- les ouvrages d'art dits « courants » → les ponts qui passent au-dessus ou au-dessous de l'autoroute ;
- les ouvrages d'art dits « non courants » → les viaducs, tunnels ou tranchées couvertes ;

En permettant la traversée de l'autoroute par les routes, les voies ferrées, les rivières, la faune, ces ouvrages assurent ce que l'on appelle la **transparence de l'infrastructure dans son environnement**.

Parmi les ouvrages d'art courants, le réseau Ouest compte 470 « buses », implantées pour permettre le passage, sous l'autoroute, de cours d'eau, d'animaux voire même d'engins agricoles selon les cas.

Les buses assurent essentiellement les continuités écologiques et hydrauliques de part et d'autre de l'infrastructure.



Les ouvrages d'art courants

1 : les passages inférieurs

2 : les buses (qui sont aussi des passages inférieurs)

3 : les passages supérieurs

Tous les ouvrages d'art font l'objet d'une surveillance continue et, en fonction de leur âge, des désordres et pathologies constatés, de programmes de rénovation.

2 | LES BUSES MÉTALLIQUES

Parmi les 470 buses que compte le réseau VINCI Autoroutes Ouest, 341 sont des buses métalliques. Le programme d'entretien actuel concerne 45 d'entre elles qui, compte tenu de leur classification selon la méthode IQOA (Image de la Qualité des Ouvrages d'Art) à fin 2019 sont à rénover en priorité.

> Un peu d'histoire

Le premier brevet pour une buse préfabriquée en usine en acier ondulé flexible a été déposé par Monsieur SIMPSON en 1886 dans l'Indiana (USA). Il a été exploité dès 1908 par la société ARMCO, créé en 1899.

Elles ont été distribuées par 3 fournisseurs principaux :

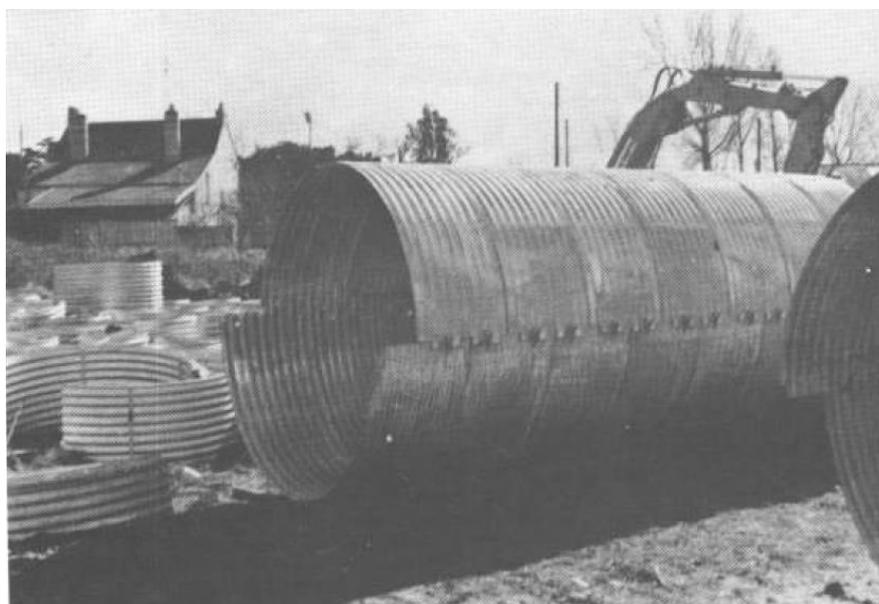
- ARMCO, installé en Allemagne depuis 1956, et devenu HAMCO DINSLAKEN BAUSYSTEME GMBH en 1988. Depuis 1999, la société SIREB est le représentant exclusif en France des produits HAMCO ;
- TUBOSIDER (Italie) les commercialise depuis les années 1970 ;
- ARVAL les commercialise à partir des années 1970.

Elles ne sont plus distribuées aujourd'hui.

Conçues pour une durée de vie de 50 à 70 ans, elles ont été largement utilisées dans les années 70 / 80 pour assurer notamment le rétablissement des cours d'eau. Ces ouvrages, particulièrement exposés et sensibles aux agressions de leur environnement, peuvent présenter des désordres structuraux dès l'âge de 35-40 ans, les classant parmi les ouvrages préoccupants et fragiles.

Le niveau de service attendu des infrastructures que portent ces ouvrages ainsi que leur impact sur leur environnement peuvent rendre les opérations de réparation ou de remplacement souvent délicates.

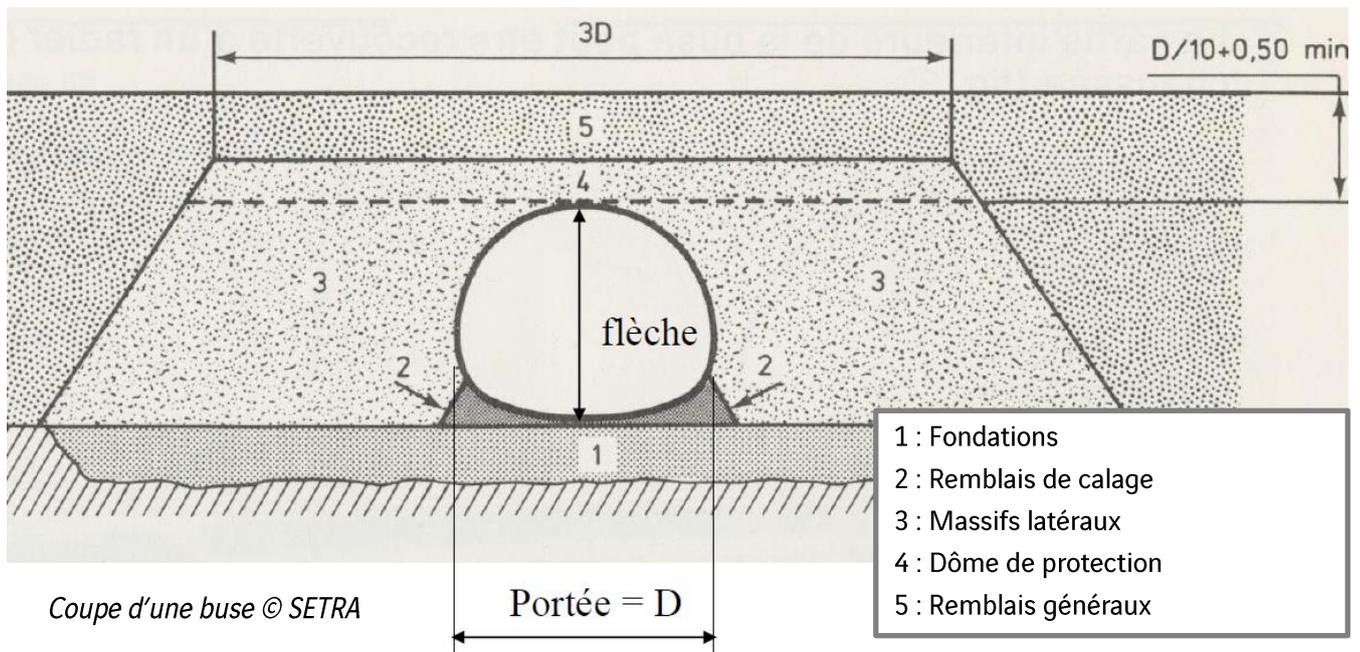
La gestion de ce patrimoine d'ouvrages nécessite d'en connaître la typologie et le fonctionnement, de réaliser un entretien régulier et une surveillance continue, d'identifier les pathologies pour bien conduire le diagnostic et définir les techniques de réparation / renforcement ou de remplacement adaptées.



Buse préfabriquée © CEREMA

> Le fonctionnement

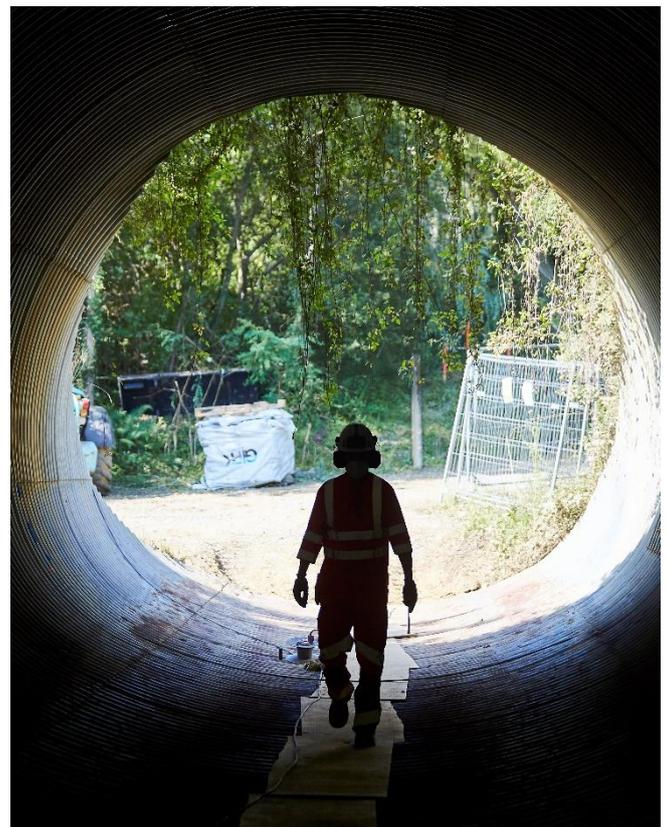
Le fonctionnement d'une buse métallique résulte de l'association de deux milieux, mécaniquement indissociables : les terres environnantes et le coffrage métallique de la buse.



> La surveillance continue, socle d'un plan de maintenance optimal

Tous les ouvrages font l'objet d'une surveillance continue via la mise en œuvre de différents outils et moyens :

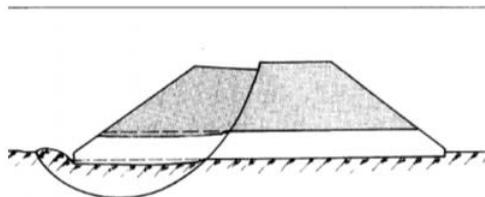
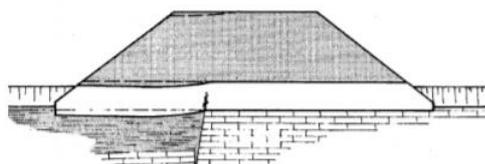
- très régulières, les **visites et inspections détaillées** ont pour objectifs de constater visuellement l'état de l'ouvrage et de consigner les informations dans un rapport d'inspection.
- En fonction des désordres et pathologies constatés, des **relevés topographiques ou relevés avec scanner 3D** sont effectués. Le but est de mesurer précisément l'évolution des désordres et de suivre par exemple, l'affaissement du profil en long ou les aplatissements en section.
- Les **diagnostics sur la corrosion** peuvent être réalisés en mesurant l'épaisseur avec un appareil à ultrasons, en prélevant des échantillons d'acier voire des remblais latéraux.
- Une **mise sous surveillance renforcée** peut être décidée et le suivi assuré par relevés topographiques réguliers. Dans certains cas, l'ouvrage peut aussi être instrumenté pour mesurer les déformations.



> Les principales pathologies

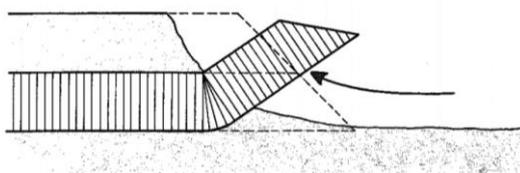
Sur les buses métalliques, les principales pathologies rencontrées sont la déformation de la structure et, plus particulièrement pour celles qui sont en eau, la corrosion qui peut aller jusqu'à la perforation des aciers.

Déformations longitudinales



Affaissement localisé

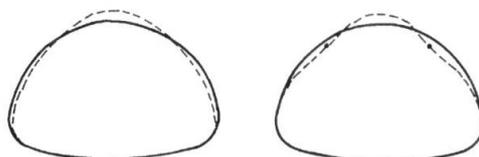
Causes : instabilité du remblai et/ou du sol de fondation.



Soulèvement

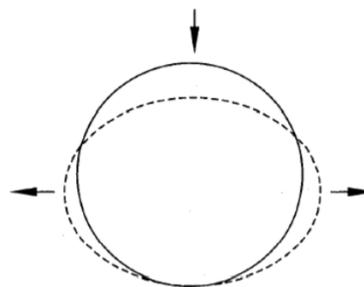
Causes : affouillement à l'extrémité amont / ancrage insuffisant dans le radier.

Déformations transversales



Déformation en forme d'ogive ou de poire

Causes : insuffisance de résistance de la paroi lors de la mise en œuvre lié à la construction des remblais / Insuffisance de rigidité des plaques.



Aplatissement

Causes : insuffisance de raideur des remblais latéraux de butée liée à un défaut de compactage, la présence d'argile ou d'une circulation d'eau entraînant des fines.

Corrosion



Ouvrage non hydraulique

Corrosion par le milieu environnant : défaut ou absence de drainage.



Ouvrage hydraulique

Corrosion par le cours d'eau, principalement dans la zone de marnage.



2 types d'ouvrage

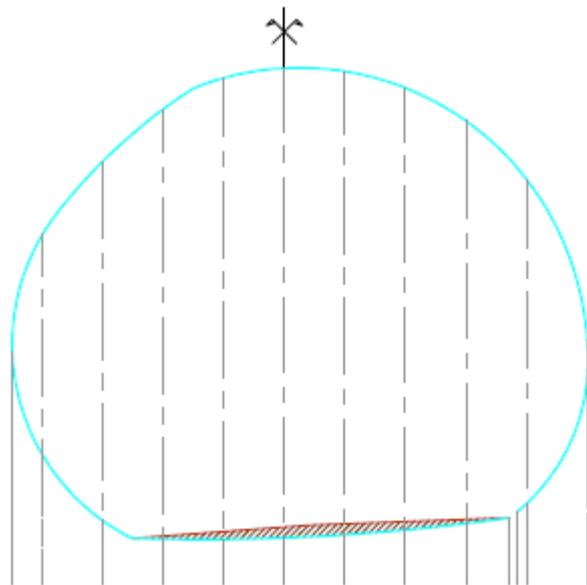
Corrosion par le remblai : contact de matériaux naturels de remblai (sols)

3 | L'INNOVATION

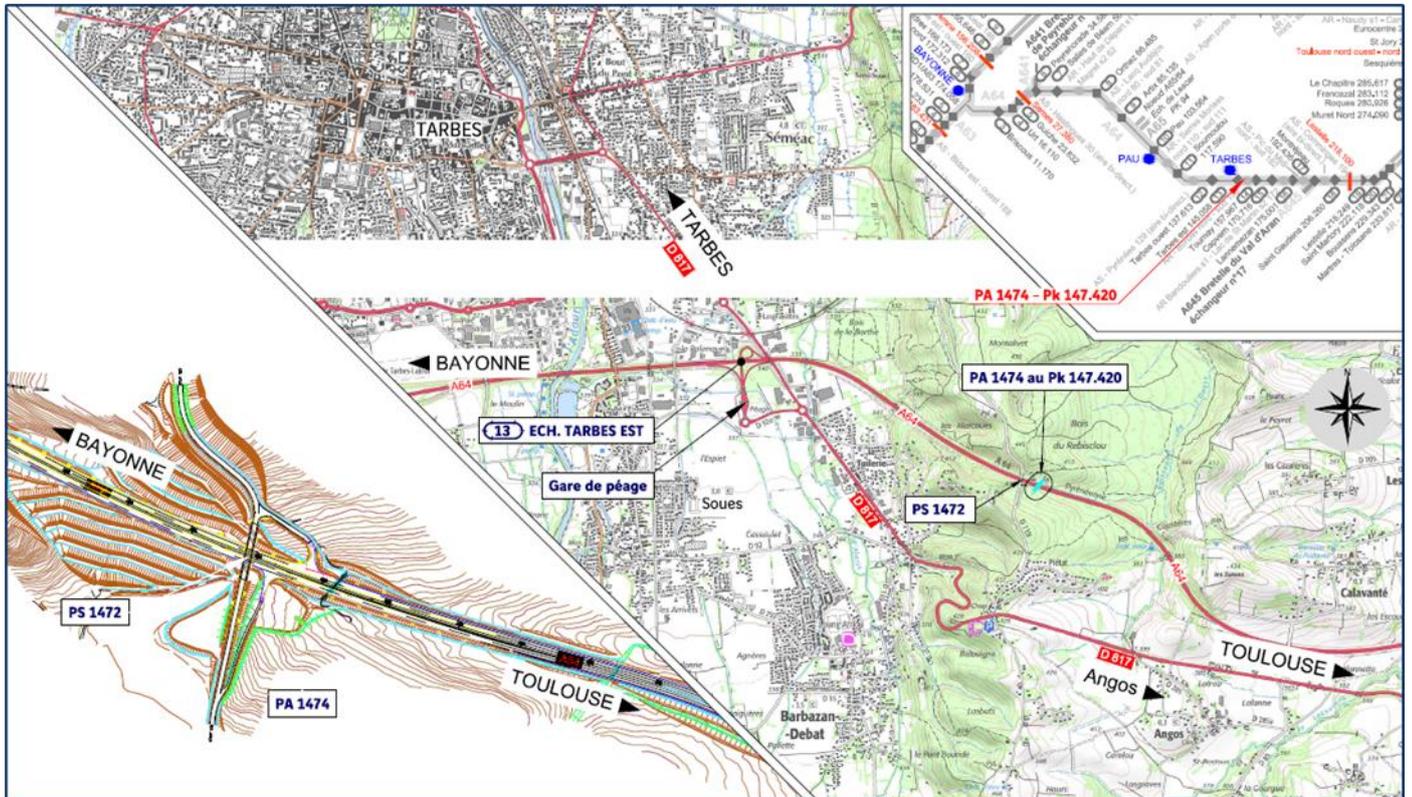


> La buse du passage agricole « 1474 »

Située sur la commune de Barbazan-Debat, à proximité de Tarbes, cette buse est un passage agricole dont la rénovation, après plus de 40 ans d'existence, va faire l'objet d'une grande première dans le domaine de l'entretien des passages sous l'autoroute.



À gauche : une photo montrant la corrosion et ci-dessus, la coupe effectuée à partir des relevés sur site qui met en évidence la déformation de la buse.



Le plan de situation du passage agricole.

C'est sur cette buse que VINCI Autoroutes a choisi de tester l'innovation proposée par Freyssinet

En fonction des pathologies et d'autres critères comme l'environnement de l'ouvrage, les incidences des travaux sur la circulation, sur la biodiversité, la ressource en eau... plusieurs stratégies de rénovation des buses peuvent être envisagées.

Le remplacement d'une buse existante présente de fortes contraintes car il nécessite dans la plupart des cas, l'interruption de la circulation sur les voies de l'autoroute. Lorsque le remplacement peut être évité, les travaux de réparation consistent généralement à conforter l'ouvrage par l'intérieur en utilisant la technique classique de béton armé coulé.

Cette technique, relativement longue à mettre en œuvre, entraîne des surépaisseurs pouvant atteindre 30 à 40 cm, ce qui a une incidence sur le gabarit (le diamètre intérieur) de l'ouvrage. La perte de gabarit peut en effet provoquer des impacts importants sur la transparence de l'autoroute dans son environnement. Dans le cas des ouvrages hydrauliques, un gabarit plus étroit qu'à l'origine peut modifier la capacité d'écoulement des eaux, ce qui peut entraîner des inondations lors d'épisodes de fortes pluies et avoir des incidences sur les continuités écologiques. Dans le cas des passages agricoles, la réduction du gabarit peut conduire à priver d'accès les engins agricoles.

VINCI Autoroutes a choisi de tester une nouvelle technique proposée par Freyssinet : le confortement de la buse par projection d'un Béton Fibré Ultra Performant (BFUP), une méthode très prometteuse à de multiples égards.

> Le BFUP : un procédé éprouvé...

Développé dans les années 90 pour les besoins de l'industrie nucléaire civile, le BFUP (Béton Fibré Ultra Performant) est utilisé depuis plus de 25 ans dans le génie civil.

Il s'agit d'un béton à très forte matrice cimentaire qui contient des fibres métalliques à haute limite élastique, comme les aciers de précontrainte, très fines et en forte densité. Le BFUP a fait l'objet de réalisations prestigieuses comme la Fondation Louis Vuitton, le MUCEM, le Stade Jean BOUIN...

En France, le BFUP est désormais une technique traditionnelle couverte par des normes spécifiques.

Il offre des performances de durabilité exceptionnelles ainsi qu'une résistance à la corrosion très élevée.

> ... tout récemment développé pour une utilisation en voûte

En 2016, Lafarge-Hocim et Freyssinet étaient lauréats de l'appel à projets « Routes et Rues » lancé par l'IDDRIM (Institut Des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité) pour leurs travaux « Régénération et renforcement de tunnels, voûtes, buses métalliques et galeries par coque ultra mince en BFUP projeté ». Cette innovation permettant aux partenaires de compter parmi les « 6 lauréats témoins de l'engagement des entreprises de TP pour la transition énergétique et écologique ».

> Une première sur le réseau VINCI Autoroutes Ouest

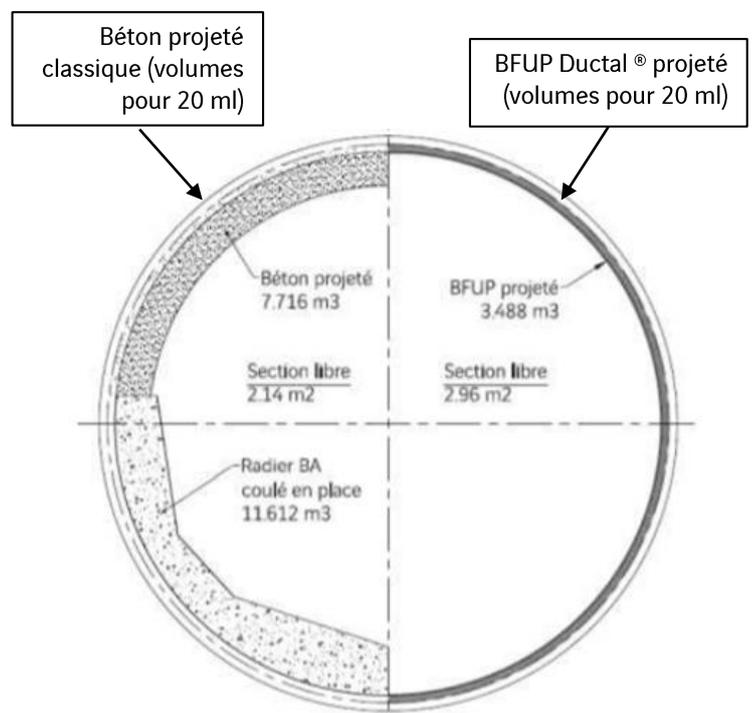
Pour la première fois, la Direction de la Maîtrise d'Ouvrage Ouest va utiliser du BFUP Ductal® Projeté dans le cadre du confortement d'une buse métallique.

L'enjeu est de tester la technique et de valider ses bénéfices avant de la déployer sur l'ensemble du opérations de rénovation similaires.

> De multiples bénéfices

▪ Durabilité et résistance

Sous sa forme « projetée » le Ductal® conserve les caractéristiques connues des BFUP : des caractéristiques mécaniques élevées et une très grande durabilité. Côté performances, Ductal® Projeté présente une exceptionnelle résistance aux agressions chimiques et mécaniques (abrasion, gel/dégel, chocs...) et une grande durabilité (100 fois supérieure à celle du béton classique). Ces qualités permettent de réduire les volumes de produit nécessaires au renforcement des structures.



▪ Des chantiers plus simples à mettre en œuvre

Directement appliqué en fines couches sur un simple ferrailage préalablement installé à l'intérieur de la buse métallique existante, le BFUP Ductal® Projeté ne nécessite ni coffrage important, ni pose de connecteurs comme l'imposent les techniques classiques de béton coulé ou projeté.

La technique permet de limiter les travaux préparatoires, un seul nettoyage préalable par sablage de la buse suffit. La durée même d'intervention est réduite en raison des faibles quantités requises et de l'utilisation d'une seule et même technologie.

La compacité de la station de projection et les faibles besoins en engins et matériaux permettent de limiter l'aménagement du site au strict minimum.

Les travaux n'ont aucune incidence sur la circulation autoroutière et sont peu impactants pour le voisinage (moins de bruit et poussières).

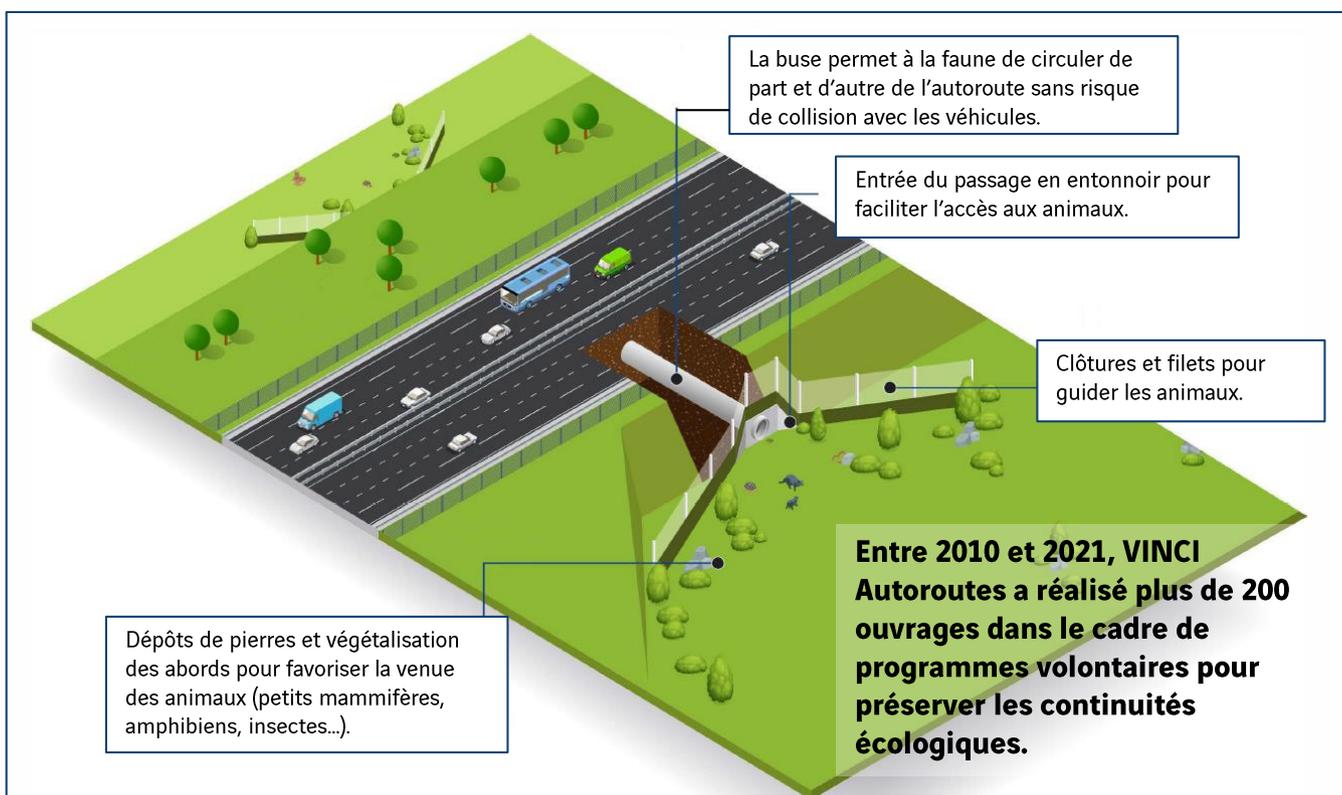
▪ Un bilan carbone optimisé

Le BFUP Ductal® Projeté consomme moins de volumes de matières : sur une buse de 2,5 mètres de diamètre, une couche de 60 mm suffit (contre 15 à 30 cm pour du béton projeté ou coulé). Réduction de la consommation d'énergie pour la fabrication, diminution des quantités de matériaux à transporter, moins de matières gaspillées (tenue du BFUP sur les surfaces inclinées)... autant d'atouts pour optimiser le bilan carbone du chantier.

▪ La transparence des ouvrages préservée

Grâce à la fine couche nécessaire au confortement de la buse, le BFUP Ductal® Projeté permet de maintenir le diamètre de l'ouvrage initial, garantissant ainsi les continuités écologiques et la transparence environnementale de l'autoroute. La libre circulation des espèces aquatiques, semi-aquatiques et terrestres n'est pas entravée, la ressource en eau est préservée et le risque inondations contenu.

Enfin, les accès indispensables à l'activité agricole sont préservés dans leur gabarit initial.







4 | LA MISE EN ŒUVRE

> Un atelier de fabrication du BFUP in situ

La technique mise en œuvre nécessite la mise en place, à proximité immédiate du chantier, d'un atelier de fabrication et de pompage du BFUP Ductal® Projeté. Cet atelier est composé de matériels particuliers.

- **Une centrale de malaxage du BFUP mobile**, spécifiquement construite pour ces travaux et intégrant :
 - un malaxeur conique spécialement adapté pour le malaxage du BFUP ;
 - des balances de mesure de l'eau et des adjuvants ;
 - le peson nécessaire au contrôle du poids du Premix (c'est-à-dire le mélange « sec » fabriqué préalablement en usine) dans le malaxeur ;
 - un système de contrôle par l'automate de la fluidité du produit ;
 - le cône et sa table à chocs conformément à la norme NF EN 12 350-5 ;
 - une pompe à béton ;
 - des caisses de contrôles pour mesurer les résistances en compression et flexion.



Centrale de malaxage du BFUP © Freyssinet.

- **Des conduites de transport du BFUP vers la lance de projection**

- Des moyens d'alimentation :**

- un compresseur d'air ;
 - une alimentation en énergie électrique (raccordement au réseau ou groupe électrogène) ;
 - un raccordement au réseau d'eau potable ou à une citerne ;

- **Du matériel de nettoyage et de traitement des eaux usées :**

- un nettoyeur Haute Pression ;
 - une station mobile de traitement des eaux de lavage.

> Un phasage précis

- Nettoyage de la buse**

La buse est préalablement curée à l'aide d'une pelle hydraulique afin d'évacuer le remblai existant.

La buse est ensuite nettoyée à l'aide d'un nettoyeur haute pression pour enlever l'ensemble des résidus.

- Segmentation de la buse en plots**

La coque de renforcement étant réalisée à l'avancement, la buse est segmentée en plots, de longueur égale, correspondant chacun à un poste de travail sans interruption de la projection. Les plots sont séparés par un joint de bétonnage.



Segmentation de la buse en plots.

- Mise en place du ferrailage**

Un ferrailage est mis en place sur la surface à projeter au niveau des reprises de bétonnage.

Chaque panneau pèse moins de 20kg afin de limiter la pénibilité.



Mise en place du ferrailage.

▪ Malaxage du BFUP

Le malaxage est réalisé par un opérateur habilité, formé à cette tâche spécifique. Les grandes étapes du malaxage sont les suivantes :

- introduction du Premix dans le malaxeur ;
- Introduction de l'eau en quantité ajustée selon le poids de Premix introduit dans le malaxeur ;
- malaxage du mélange jusqu'à obtention de la rhéologie* requise ;
- introduction des fibres métalliques en quantité ajustée selon le poids de Premix introduit et le dosage en fibre requis ;
- malaxage du mélange fibré.

* *rhéologie : étude des caractéristiques de viscosité d'un matériau fluide et donc, pour le béton, de sa consistance. Le terme provient du grec « rheo » (couler) et « logos » (étude). La rhéologie est l'étude de l'écoulement (plasticité, élasticité, viscosité et fluidité) des matières déformables.*

▪ La projection du BFUP en radier

Le projeteur est un opérateur techniquement certifié par l'ASQUAPRO (Association pour la Qualité de la Projection des bétons). La lance est soutenue par un échafaudage afin de diminuer la pénibilité du travail.

Le projeteur commence par réaliser la projection sur les piédroits, sur un linéaire entre 2 et 3 mètres selon le principe du schéma 1. Le radier est projeté après réalisation des amorces des piédroits afin que le personnel d'exécution ne marche pas dans le BFUP frais. Le BFUP est projeté au sol, à reculons, en maintenant la lance verticalement, selon le principe du schéma 2.



Projection sur les piédroits et le radier.

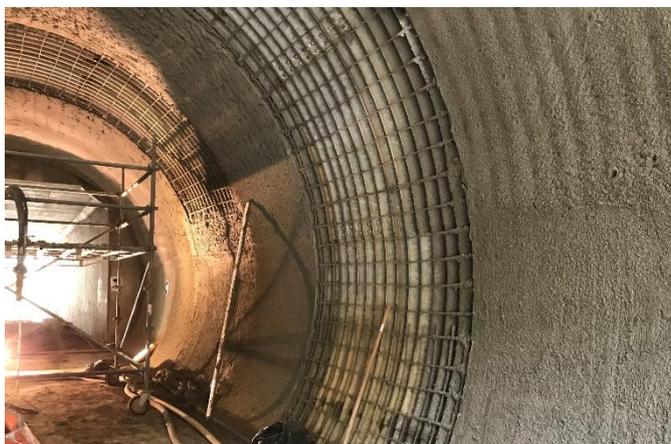
▪ Réalisation du remblai en fond de buse dans le cas d'un passage agricole

Une fois le radier réalisé, le remblai définitif est mis en œuvre sur le radier afin de constituer une surface de circulation plane et plus confortable que le BFUP brut de projection. Un géotextile est mis en place sur le remblai pendant la phase de projection de la voûte afin de récupérer les pertes à la projection.

▪ Projection du BFUP en voûte

La projection du BFUP en voûte est réalisée en plusieurs étapes.

Les anneaux d'un même plot sont réalisés en deux passes de projection (remplissage des ondes puis réalisation de la zone d'épaisseur constante) et de façon alternée pour assurer un temps minimum de durcissement entre passes d'un même anneau afin de réduire le risque de chute en plafond.



Étape 1 : projection du BFUP, 1 anneau sur 2



Étape 2 : projection du plot N-1.

▪ Des contrôles draconiens

À chaque étape du chantier des contrôles qualité sont réalisés :

- les durées de péremption, les conditions de stockage du Prémix, de l'adjuvant et des fibres métalliques sont vérifiées ;
- le dosage des composants est contrôlé ;
- lors du malaxage, différents paramètres comme la température du BFUP frais et sa fluidité sont examinés ;
- lors de la projection, l'épaisseur et la teneur en fibres métalliques sont contrôlées ;
- des échantillons de produit durci prélevé dans des caisses réalisées par projection permettent de mesurer la qualité du BFUP, notamment sa résistance en compression et en flexion.

> Un chantier respectueux de l'environnement

Comme pour l'ensemble des chantiers, des mesures sont mises en œuvre pour préserver l'environnement. Les eaux de lavage sont intégralement pompées pour être acheminées vers une station mobile qui assure leur traitement avant rejet dans le milieu naturel. Le calendrier des travaux tient compte du cycle biologique de la biodiversité.



Station mobile de traitement des eaux.



Réseau ASF

**Direction de la Maîtrise d'Ouvrage Ouest
Europarc - 22 avenue Léonard de Vinci
33608 Pessac cedex**

www.vinci-autoroutes.com