

# TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

**ENVIRONNEMENT. PONTS INTEGRAUX DESTINES A LA GRANDE FAUNE SUR A10, A11 ET A71. GESTION ENVIRONNEMENTALE SUR LE CHANTIER E18 EN NORVEGE. ECOPONT D'ERMENONVILLE SUR A1. CONSTRUCTION D'UNE GALERIE PARE-BLOCS - PARAVALANCHES (06). RESERVOIR DE STOCKAGE DES CRUES AU CANADA. DISPOSITIONS ENVIRONNEMENTALES POUR REPARER LE VIPP 1381 SUR LE REYRAN - A8. TRESORS DE NOS ARCHIVES : BARRIERES ET CONFINEMENTS ACTIFS**

N° 991 NOVEMBRE 2023



ECOPONT  
PERMETTANT LE  
FRANCHISSEMENT  
PAR LA GRANDE  
FAUNE DE L'A11  
© VINCI AUTOROUTES

**LES TRAVAUX  
PUBLICS** FEDERATION  
NATIONALE



**ESPACE REPAS  
INDISPENSABLE**

**Dans le BTP, l'hygiène  
c'est notre chantier !**

**Agissons ! À chaque chantier sa solution. Rendez-vous sur**

**HYGIENEBTP.fr**



**Directeur de la publication**  
Alain Grizaud**Directeur délégué**  
**Rédacteur en chef**  
Michel Morgenthaler  
3, rue de Berri - 75008 Paris  
Tél. +33 (0)1 44 13 31 03  
morgenthalerm@fnfp.fr**Comité de rédaction**Jean-Bernard Datry (Setec),  
Denis Etienne (Bouygues),  
Philippe Gotteland (Fnfp),  
Ziad Hajar (Systra),  
Florent Imbert (Razel-Bec),  
Nicolas Law de Lauriston (Vinci),  
Romain Léonard (Demathieu Bard),  
Claude Le Quéré (Egis),  
François Louvel (Spie Batignolles),  
Véronique Mauvisseau (Ingerop),  
Stéphane Monleau (Soletanche Bachy),  
Laetitia Pavel (Arcadis),  
Claude Servant (Eiffage),  
Nastaran Vivan (Artelia),  
Michel Morgenthaler (Fnfp)**Ont collaboré à ce numéro**  
**Rédaction**Sophie Le Renard (actualités),  
Marc Montagnon**Service Abonnement et Vente**  
TBS GROUP**Service Abonnement Revue Travaux**  
20 rue Rouget de Lisle  
92130 Issy les Moulineaux  
Tél. +33 (0)1 40 94 22 22  
Fax +33 (0)1 40 94 22 32  
revue-travaux@cometcom.frFrance (9 numéros) : 190 € TTC  
International (9 numéros) : 240 €  
Enseignants (9 numéros) : 75 €  
Étudiants (9 numéros) : 50 €  
Prix du numéro : 25 € (+ frais de port)  
Multi-abonnement : prix dégressifs  
(nous consulter)**Publicité**Rive Média  
10, rue du Progrès - 93100 Montreuil  
Tél. : 01 41 63 10 30  
www.rive-media.fr**Directeur de clientèle**  
Bertrand Cosson -  
b.cosson@rive-media.fr  
L.D. : 01 41 63 10 31**Site internet : www.revue-travaux.com****Édition déléguée**Com'1 évidence  
2, chemin dit du Pressoir  
Le Plessis  
28350 Dampierre-sur-Avre  
Tél. bureaux : +33 (0)2 32 32 03 52  
revuetravaux@com1evidence.comLa revue Travaux s'attache, pour l'information  
de ses lecteurs, à permettre l'expression de  
toutes les opinions scientifiques et techniques.  
Mais les articles sont publiés sous la responsabilité  
de leurs auteurs. L'éditeur se réserve le droit de  
refuser toute insertion, jugée contraire aux intérêts  
de la publication.Tous droits de reproduction, adaptation, totale  
ou partielle, France et étranger, sous quelque  
forme que ce soit, sont expressément réservés  
(copyright by Travaux).Ouvrage protégé ; photocopie interdite, même  
partielle (loi du 11 mars 1957), qui constituerait  
contrefaçon (code pénal, article 425).Éditions Science et Industrie SAS  
9, rue de Berri - 75008 Paris  
ISSN 0041-1906

# ET MAINTENANT, ON FAIT QUOI ?



© JEAN-MARIE HEDINGER

Les acteurs de la ville n'ont commencé à intégrer les enjeux environnementaux dans les opérations d'aménagement et de construction depuis une vingtaine d'années. Et pendant près de 15 ans, nous avons concentré nos efforts sur l'optimisation énergétique des opérations neuves. N'avons-nous pas fait fausse route ?

En France, comme dans tous les pays industrialisés à l'histoire urbaine ancienne et à la démographie faible, le neuf représente chaque année à peine 1 % du stock des bâtiments et infrastructures existants. Et nous savons aujourd'hui que l'enjeu de l'énergie blanche - l'énergie de flux, la consommation - n'est pas le principal sujet du neuf : les normes et réglementations en vigueur impliquent des constructions neuves intrinsèquement performantes. Bien sûr, nous pouvons continuer à chercher à réduire encore davantage les consommations, mais le gain obtenu serait anecdotique au regard des défis écologiques. Les bâtiments existants étant 5 à 10 fois plus consommateurs que les bâtiments neufs, pendant environ 15 ans, nous avons consacré chaque année 99,9% des moyens et de l'intelligence collective sur 0,1 à 0,2% du problème...

Car pour nous, acteurs de la ville, qui avons donc la main sur le milieu physique de nos territoires (qui représente environ 40 % des GES), l'enjeu est d'attaquer le problème en activant les leviers les plus efficaces, dans la recherche permanente du couplage effort/gain le plus rentable. En priorité, consacrer tous nos efforts à réduire les consommations d'éner-

gie blanche dans le stock lorsque nous intervenons sur l'existant où le carbone matière est amorti. Et, lorsque le neuf est nécessaire, prioriser nos efforts à travers la recherche du moins de matière, et du "mieux" de matière, en s'attaquant à l'énergie grise.

D'autant qu'une nouvelle responsabilité nous incombe : adapter nos territoires. Parallèlement aux actions d'atténuation des émissions globales de GES qui visent à limiter le dérèglement climatique, il faut prendre la mesure de l'absolue nécessité de cette adaptation : aussi "vertueuses" que pourraient devenir nos interventions, nous savons maintenant que le dérèglement est à l'œuvre et que rien ne pourra l'arrêter. Aussi faut-il, en parallèle, accentuer les mesures d'adaptation, pour permettre à tous, humains et non-humains, de garder des conditions de vie correctes, aujourd'hui et demain. Plus de 80 % des bâtiments, infrastructures et espaces publics de 2050 existent déjà aujourd'hui... La question est : parmi ceux-ci, combien sont adaptés aux conditions de 2050, au dérèglement climatique et à l'augmentation des risques systémiques qui en découlent (inondations, sécheresses, recul du trait de côte, chute de la biodiversité, augmentation des températures et des îlots de chaleur urbain, etc.) ? Aucun, ou presque...

Et l'enjeu n'est pas seulement la résilience et le confort. C'est aussi une question d'équité sociale - car évidemment, les populations les plus précaires sont les moins bien armées pour affronter les bouleversements à venir.

La marche est haute, mais c'est un beau rôle à saisir pour les acteurs de la ville. Les crises récentes ont au moins eu le mérite de créer l'électrochoc nécessaire à la prise de conscience généralisée qui est enfin à l'œuvre.

Encore faut-il que chacun accepte de placer ces enjeux au cœur de toutes opérations, que ce soit d'aménagement, de programmation, d'immobilier, de constructions neuves ou de réhabilitations. Ce qui implique, bien sûr, de donner aux experts de l'environnement impliqués - écologues, scientifiques, ingénieurs de l'environnement... - les moyens d'agir et de peser. Et là, on est encore loin du compte...

**FRANCK BOUTTÉ**INGÉNIEUR, FONDATEUR ET PRÉSIDENT DE L'ATELIER  
D'INGÉNIERIE ENVIRONNEMENTALE FRANCK BOUTTÉ  
CONSULTANTS  
GRAND PRIX DE L'URBANISME 2022



# Environnement

DISPOSITIONS ENVIRONNEMENTALES MISES EN ŒUVRE POUR LES TRAVAUX DE RÉPARATION DU VIPP 1381 SUR LE REYRAN - A8 © SETEC DADÈS



04 ALBUM

08 ACTUALITÉ



18

**ENTRETIEN AVEC BERNARD SALHA**  
EDF -  
CONSTRUIRE ENCORE PLUS SOBRE,  
ENCORE PLUS PERFORMANT,  
ENCORE PLUS DURABLE

26 DI ENVIRONNEMENT -  
DU DÉSAMIANTAGE À LA DÉPOLLUTION  
GLOBALE

34

**PONTS INTÉGRAUX DESTINÉS  
À LA GRANDE FAUNE**  
sur A10, A11 et A71

40

**UNE GESTION ENVIRONNEMENTALE INTÉGRÉE  
SUR LE CHANTIER E18**  
en Norvège

46

**ÉCOPONT  
D'ERMENONVILLE**  
Autoroute A1

52

**CONSTRUCTION D'UNE  
GALERIE PARE-BLOCS  
ET PARAVALANCHES**  
pour rétablir l'accès au  
hameau de Casterino (06)

60

**SPRINGBANK SR1**  
Réservoir de stockage  
des crues au Canada

68

**LES TRAVAUX DE  
RÉPARATION DU VIPP 1381  
SUR LE REYRAN - A8**  
Les dispositions environne-  
mentales mises en œuvre

76

Trésors de nos archives :  
**BARRIERES ET  
CONFINEMENTS ACTIFS :  
UN CONCEPT PROMETTEUR**  
Travaux n°758 - novembre 1999



## ALEX DANS LA VALLÉE DES MERVEILLES ADAPTATION À UN ENVIRONNEMENT HOSTILE

**Nge Génie Civil, Nge Fondations, Guintoli et Egis,** pour le Conseil Départemental des Alpes Maritimes, ont réalisé, dans des conditions acrobatiques, un pare-blocs/paravalanches pour rétablir l'accès à la Vallée des Merveilles et désenclaver le village de Casterino, durement frappés par la tempête dévastatrice Alex d'octobre 2020. **(Voir article page 52).**



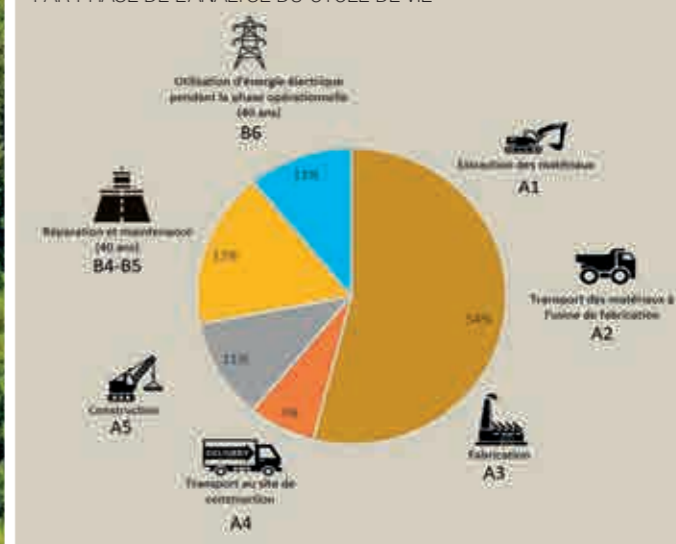
© EGIS - JB. NAPPI

© CD08

## GRAND CHANTIER DANS LE TÈLÈMARK EN GESTION ENVIRONNEMENTALE INTÉGRÉE CERTIFIÉE BREEAM

**Eiffage Génie Civil**, pour le compte de la société d'État Nye Veier, a réalisé en conception-construction, la mise à 2 voies de l'autoroute E18 dans le Tèlèmark en Norvège, sur un tronçon de 18 km constitué d'une succession de ponts, viaducs et tunnels. Le référentiel BREEAM de certification environnementale, associant toutes les parties prenantes et bénéficiant d'aides financières pour la réduction de l'emploi d'énergies fossiles, a été mis en œuvre avec succès. (Voir article page 40).

RÉPARTITION DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE DU PROJET, PAR PHASE DE L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE



## UNE NOUVELLE USINE DE PRODUCTION D'ÉNERGIE À PARTIR DES EAUX USÉES

**La nouvelle station de dépollution de Bonneuil-en-France (95), récemment inaugurée, présente la caractéristique de traiter les eaux usées mais aussi produire du biométhane à partir de celles-ci. Ce site a mobilisé de nombreuses innovations qui ont nécessité à la fois plusieurs années d'études de faisabilité mais aussi des investissements importants.**



La nouvelle station de dépollution de Bonneuil-en-France produira du biogaz pour 1 750 logements.

Pas moins de 217 M€ (TTC) et presque 4 ans de chantier auront été nécessaires pour achever la nouvelle station de dépollution de Bonneuil-en-France (95). Cette usine dernière génération, inaugurée en octobre 2023, présente la caractéristique de traiter les eaux usées mais aussi de produire de l'énergie verte à partir de celles-ci.

« Des énergies vertes et locales, précédemment perdues voire rejetées dans l'atmosphère, sont désormais valorisées : calories des eaux traitées, eaux usées traitées, biométhane issu de la méthanisation, eaux pluviales. » détaille Benoit Jimenez, Président du Syndicat intercommunal aménagement hydraulique vallées (Siah), qui exploite ce site, située à l'Est du Val d'Oise.

### → Réseau gaz de ville pour 1 750 logements

Construite sur un foncier enserré entre routes, aéroport et zones humides, cette usine a bénéficié de technologies qui répondaient à ces contraintes mais aussi aux futures évolutions réglementaires, dont la révision à venir de la Directive eaux résiduaires urbaines (Deru).

Dans un contexte d'explosion démographique dans ce territoire, l'objectif était d'augmenter la capacité de traitement de 300 000 à 500 000 équivalents habitants. Cela représente le traitement de

84 000 m<sup>3</sup> d'eaux usées par jour. Après plusieurs années d'études de faisabilité, la décision d'exploiter pleinement les boues de la station de dépollution afin de créer du biométhane a été prise. Les eaux usées vont ainsi subir différents traitements générant une énergie qui sera ensuite rejetée dans le réseau gaz de ville géré par GRDF pour 1 750 logements connectés, soit 10 532 GWh.

### → Soutien financier de la Banque européenne d'investissement

La mise en place d'une hydrolyse thermique des boues a permis à la fois de réduire l'empreinte carbone de l'ensemble du cycle de traitement, mais aussi d'améliorer la production de biogaz tout en diminuant la taille des ouvrages de digestion de l'ordre de 40 %.

« Le choix de digesteurs à toit plat est utile pour réduire de manière très significative les cercles de dangers afférents à une éventuelle explosion de ces ouvrages, » souligne Éric Channal, directeur général du Siah.

Ce projet a obtenu le soutien financier de la Banque européenne d'investissement (BEI) par un prêt de 76 M€, les subventions de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie pour les travaux (35,8 M€) et pour les études (8,1 M€) et de l'Ademe (429 758 €). La part d'autofinancement du Siah représente (45,6 M€). ■

## LE PARTENARIAT CONTINUE ENTRE BNF ET LE CCCA-BTP

La Bibliothèque nationale de France (BNF) et le CCCA-BTP ont signé une nouvelle convention de partenariat autour du projet Passerelle(s) qui existe depuis 2016. Son objectif est, comme son nom l'indique, de créer des passerelles entre les apprentis en formation aux métiers du bâtiment et des travaux publics et le monde de la culture, autour des ressources, réalisations et savoir-faire de la construction. Le site web dédié, <https://passerelles.essentiels.bnf.fr/fr/>, connaît un succès avec près de 50 000 visiteurs uniques chaque mois.

Organisé sous forme d'une frise chronologique, il présente les grands ouvrages de chacune des périodes de l'histoire, répartis sur l'ensemble des continents. C'est au travers de ces constructions

exemplaires que les métiers de la construction sont abordés dans leur contexte historique, culturel et géographique.

### → Perspective des JO 2024

La mise en ligne de ces ressources, témoigne de l'apport de la filière BTP dans l'histoire de la construction et de l'évolution des métiers de l'Antiquité au XXI<sup>e</sup> siècle. Des groupes d'apprentis en formation ont aussi accès à deux sites parisiens de la BNF, (Richelieu et François-Mitterrand). Avec ce nouveau partenariat, la BNF va continuer son travail de valorisation des ressources auprès des formateurs, apprentis, professionnels du bâtiment et des travaux publics. Elle finalisera la traduction de planches du site en anglais. Et dans la perspective des Jeux

Olympiques de Paris 2024, le site Passerelle(s) mettra en valeur les ouvrages emblématiques ayant marqué de leur

empreinte les Jeux Olympiques. Ce projet est financé par le CCCA-BTP à hauteur de 65 000 € par an. ■



Image de l'architecture symbolique de Paris sur le site Passerelle(s).



# L'assurance des engins et matériels zéro émission

L'assurance qui accélère la transition des entreprises du BTP.



Retrouvez notre offre en détail sur [www.auxiliaire.fr/breez](http://www.auxiliaire.fr/breez)





## LA GÉOTHERMIE AU CŒUR DU PLAN DE RÉNOVATION DES ÉCOLES

Le plan de rénovation des écoles doté de 500 M€, a des objectifs de baisse de 40 % de la consommation énergétique et d'environ 60 % de baisse des émissions de gaz à effet de serre d'ici 2030, jusqu'à la neutralité carbone en 2050. Cela concernerait 40 000 écoles primaires publiques, d'ici 10 ans.

La géothermie est mise en avant comme solution pour leur rénovation énergétique tant pour leurs besoins en chaud qu'en froid.

Représentant 4 % de la chaleur renouvelable, celle-ci est appelée à se développer et a fait l'objet d'un plan d'actions annoncé le 2 février dernier.

## FORMER DES APPRENTIS, 12 CONSEILS POUR RÉUSSIR

Le CCCA-BTP a travaillé à la rédaction d'un ouvrage, publié aux éditions L'Harmattan et intitulé "Former des apprentis, 12 conseils pour réussir". L'objectif est de permettre aux organismes de formation par apprentissage d'appréhender les aspects essentiels d'un projet pédagogique autour du rôle de l'entreprise, de la professionnalisation et de l'accompagnement socio-éducatif des apprentis, ainsi que de l'adaptation permanente des modalités de formation à l'évolution des métiers par l'innovation.

L'ouvrage donne 12 conseils autour de 3 axes : développer l'expertise de l'apprenti dans un métier, l'ouvrir sur le monde et le positionner dans un cheminement professionnel.

L'expérience des apprentis dans le BTP est au cœur de ce livre, mais celui-ci est pertinent pour l'ensemble des secteurs professionnels.

## DÉTAIL SUR UNE OPÉRATION PILOTE D'ÉCONOMIE CIRCULAIRE



Les chutes de canalisations en fonction de leur type (PEHD, TPC et PVC) ont été triées dans des big bags.

Lors du salon Pollutec, s'est tenue une table ronde organisée par les canalisateurs et la FNTP sur le thème de l'économie circulaire. L'objectif de cette conférence était d'illustrer le rôle des Travaux publics dans la transition écologique. En effet, le secteur s'est engagé sur une trajectoire de décarbonation de ses chantiers qui nécessite à la fois de réduire l'utilisation de matières premières et de limiter les émissions de CO<sub>2</sub> liées à la construction d'infrastructures. Cette rencontre a permis de faire un retour d'expérience sur une opération pilote débutée fin 2021 en Isère, qui consistait à récupérer pour réemployer des tuyaux de canalisations.

### → Une boucle totale

Cette expérimentation a réuni 15 entreprises de ce département adhérentes au syndicat des Canalisateurs, le groupe Elydan et sa filiale Elyrev, spécialisée dans les solutions de recyclage et Frans Bonhomme, expert dans la distribution multicanal en matériaux pour les réseaux et infrastructures. Dans un premier temps, les entreprises partenaires ont trié les chutes de canalisations en fonction de leur type (PEHD, TPC et PVC) dans 3 sacs de grande dimension et de couleur différente et en les coupant pour obtenir une longueur de 50 à 60 cm. « Une fois les "big bags" remplis, l'entreprise Frans Bonhomme les a récupérés

totale. En effet, un tube qui rentre en déchet en ressort comme un tube neuf. »

### → 70 "big bags"

Pour cette expérimentation en Isère, sur une année, 70 "big bags" ont ainsi été récupérés, soit 3 tonnes de tuyaux de type PE et TPC et 2 tonnes de PVC qui ont pu être recyclés. Pour calculer les économies de gaz à effet de serre (GES) obtenus par l'utilisation de matériaux recyclés, les acteurs de ce projet se sont basés sur les données de l'Ademe. Ainsi, cette opération a permis une réduction de 78 % (pour le PVC) et de 89 % (pour les canalisations PEHD) de GES.

À l'échelle nationale, le potentiel de recyclage de chutes de canalisations est de l'ordre de 1 100 km par an. C'est dans cette optique, que le groupe Elydan à travers sa filiale Elyrev est en train de travailler à dupliquer cette solution à l'échelle nationale. En plus de son implantation en Isère et en région Paca, l'entreprise est présente dans le Tarn, le Haut-Rhin et le Loiret. « Cela nous permettra, à la fin de l'an prochain, de proposer aux entreprises des solutions de recyclage sur tout le territoire français. Elles pourront acheminer directement sur nos sites les tuyaux de canalisation usagés dans des "big bags" adaptés, ou nous irons directement les chercher. Puis nous pourrions de nouveau leur fournir ce matériel. » précise Marc Tassy. Une boucle sans fin. ■

pour ensuite les acheminer sur notre site de Saint-Étienne-de-Geoirs, en Isère, puis dans notre usine de retraitement en région Paca. Tout ce matériel était alors trié, nettoyé, broyé et reconstitué pour en faire de nouvelles canalisations. » détaille Marc Tassy, directeur de la filiale Elyrev du groupe Elydan, qui indique être la seule entreprise à proposer « une boucle



Une fois récupérés, les tuyaux sont triés et broyés pour être ensuite reconstitués.

## UN TERRITOIRE ENGAGÉ SUR LES PROBLÉMATIQUES DE L'EAU



Affiches des différents événements pour sensibiliser à la préservation de l'eau.

Sensibiliser les citoyens à la préservation de la qualité de l'eau et la régénération des océans tel est l'objectif du projet "Blue print" mené, pendant 2 ans, à l'échelle de la communauté de communes d'Auray Quiberon Terre Atlantique (56). Ce territoire de 86 000 habitants, répartis sur 24 communes, a bénéficié de multiples animations : expositions, conférences, "apéros pontons", portraits vidéo ainsi qu'une centaine de supports grand public. Cette initiative a été lancée par Catherine Chabaud, navigatrice, députée européenne et instigatrice de l'appel "Océan bien de l'humanité".

### → "La mer commence ici"

En 2021, Auray Quiberon Terre Atlantique est devenue le territoire pilote de ce projet d'appropriation aux enjeux de l'eau. C'est ainsi qu'aux abords de la rivière du Reclus à Auray, a été posée une première plaque "La mer commence ici" pour expliquer que tout ce qui est jeté au sol ruisselle dans les canalisations d'eau de pluie... et finit dans la mer. Puis le même message a été diffusé à proximité des 3 bassins versants (rivière d'Auray, rivière de Crac'h et Ria d'Étel) et des 2 baies (de Plouharnel et de Quiberon). La création d'une dynamique citoyenne autour de la préservation des eaux terrestres et marines s'est faite qu'en associant les structures publiques et les acteurs locaux (associations, entreprises, scientifiques...). « Ce projet a permis de créer une méthodologie qui soit adaptable sur d'autres territoires. Les acteurs locaux sont de vrais moteurs d'initiatives et nous sommes convaincus de la pérennité de certains dispositifs. » affirme Céline Kahn, coordinatrice du projet Blue Print.

13 événements ont ainsi eu lieu. On peut ainsi noter une soirée ciné-débat pour aller "eau-delà" des a priori, une exposition Aquasphère accompagnée d'ateliers pour comprendre le lien indéfectible entre terre et mer qui a attiré 2 000 visiteurs, des dizaines d'ateliers de travail et d'animations de sensibilisation de l'amont à l'aval des bassins versants.

### → Outils collaboratif de cartographie

Dernière-née des initiatives, Cart'eau, un outil collaboratif qui recense actions et acteurs de l'eau. Mis en ligne sur le site de la communauté de communes, cet outil "grand public" cartographie et délivre les plannings des opérations régulières de ramassage de déchets sur les plages,

des visites pédagogiques d'associations environnementales, ou encore des travaux de grande ampleur menés par les acteurs publics ayant une compétence "Eau" (mairies, Auray Quiberon Terre Atlantique, Agence de l'eau Loire-Bretagne, Eau du Morbihan, Parc Naturel Régional du Golfe du Morbihan, Syndicat mixte de la Ria d'Étel). On peut ainsi trouver sur Cart'eau le calendrier des chantiers liés aux réhabilitations de canalisations d'eau potable et d'eaux usées. Et pour finir en beauté l'engagement de ce territoire autour des problématiques de l'eau, une journée de fête a eu lieu le 30 septembre 2023, à Saint-Philibert, une "Blue fest" pour conclure le projet "Blue print". ■



Ce territoire maritime de 86 000 habitants a été territoire pilote pour l'appropriation des enjeux de l'eau.

## POINTS DE VIGILANCE DES INGÉNIEURS À LA SUITE DES ANNONCES SUR LA PLANIFICATION ÉCOLOGIQUE

Syntec-Ingénierie a salué « sans réserve » les axes de la planification écologique de la France, jusqu'en 2030 « et accueille favorablement les annonces du président qui donnent un cap et structurent le grand chantier de la transition écologique et énergétique. » L'organisation professionnelle de l'ingénierie pointe de façon favorable le développement du ferroviaire, le choix d'un mix énergétique favorisant le nucléaire aux côtés des énergies renouvelables, l'évolution de l'hydrogène à condition qu'il soit "vert" et les solutions de captage-stockage de carbone. Même si, selon l'organisation, « ces deux technologies ne sont pas encore assez matures. »

### → 20 000 ingénieurs manquant chaque année

Syntec-Ingénierie met aussi en avant des points de vigilance. En premier lieu, l'organisation appelle à aller plus loin dans la définition d'une trajectoire de financement pluriannuelle. Pour financer les 13 projets de nouveaux RER, l'État devra aller « au-delà des 700 M€ annoncés. » Puis elle pointe les 20 000 ingénieurs manquant chaque année, soit un sous-effectif structurel de 2 à 4%. « Il est urgent de donner aux professionnels une visibilité immédiate sur les grands projets à venir, d'une part ; et d'autre part, de favoriser une adéquation entre les compétences disponibles et les exigences de la filière. » Et enfin, la fédération « joint les pouvoirs publics à capitaliser en priorité sur les ressources françaises disponibles dans nos territoires. »

2024  
**iNTER  
MAT.**

**PARIS**  
**24 - 27 AVRIL 2024**

Salon des solutions  
& technologies durables  
pour la construction

Toute la filière BTP  
résolument mobilisée  
pour mieux construire demain.

**#dé  
car  
bona  
tion**

CONJOINTEMENT AU SALON



**Votre badge  
OFFERT**



Avec le code **TRAVAUX24**  
sur **paris.intermatconstruction.com**



#intermatparis

contact@intermatconstruction.com

ORGANISÉ PAR

**COMEXPOSIUM**

**EVOLIS**  
LES ACTEURS DE LA CONSTRUCTION  
EN MOUVEMENT

**SEIMAT**

INTERMAT Paris, société SE INTERMAT, au capital de 80 000 €, immatriculée au Registre du Commerce et des Sociétés de Nanterre, sous le numéro 339 486 623 dont le siège social est situé 70 Avenue du Général de Gaulle - 92058 Paris La Défense Cedex - France.

## DU CUIVRE À LA FIBRE, AXIONE SUR LE TERRAIN

Acteur des infrastructures numériques dans les territoires ruraux, Axione est confronté à la fermeture progressive du réseau cuivre d'Orange.

Afin que les citoyens et les entreprises puissent continuer à bénéficier d'un réseau numérique, Axione travaille avec l'opérateur historique des télécommunications et les collectivités locales pour déployer la fibre.

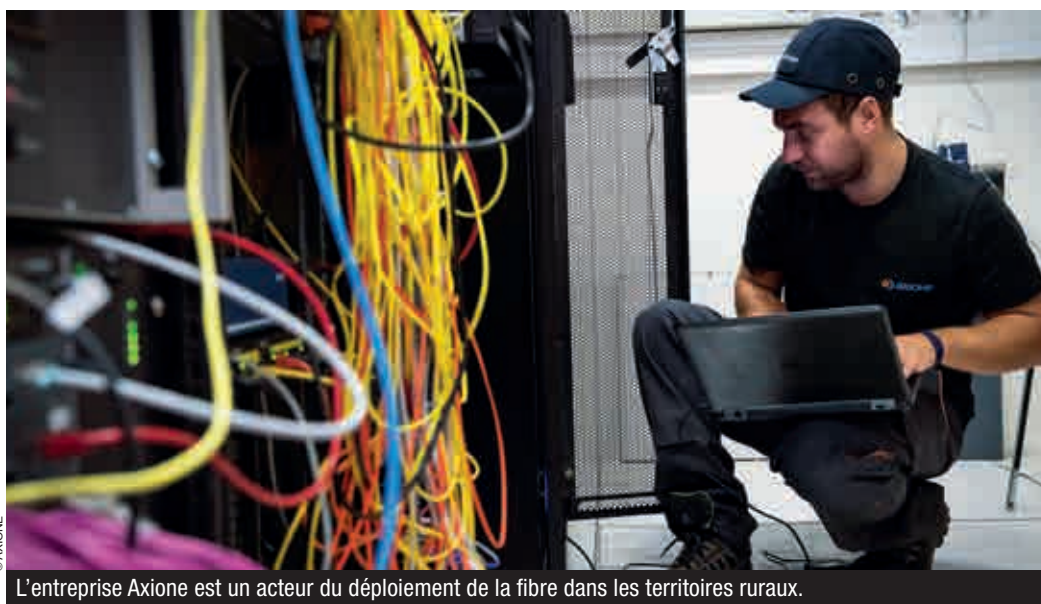
Dans un premier temps, l'entreprise a dû s'assurer que les réseaux FTTH (fibre optique jusqu'à domicile) puissent s'installer dans les meilleures conditions possibles pour les abonnés du réseau cuivre, afin d'éviter les engorgements. Des indicateurs tels que le taux de pénétration commerciale, le taux d'échecs aux raccordements ou encore la fiabilité des adresses où l'installation doit se faire, ont

permis d'apporter des corrections, en cas de défaillance.

→ **Une offre à destination des professionnels et collectivités**

De plus, de nombreuses actions de pédagogie auprès des habitants ont été nécessaires avec le soutien des municipalités. Axione a aussi surveillé le démontage du réseau cuivre (sur les façades, dans les fourreaux, ou en aérien), pour éviter les impacts sur les infrastructures des réseaux FTTH, qui doivent cohabiter. L'objectif est de limiter les détériorations sur les surfaces stratégiques. La commune de Provin (59), a été une des premières communes à voir éteindre son réseau de cuivre. Cap Fibre, la filiale d'Axione dans les Hauts de France y a déployé complètement la fibre. Par ailleurs, l'entreprise souhaite faire évoluer

son activité d'exploitant et développer de nouvelles solutions à destination des particuliers, des professionnels et des collectivités locales. Ainsi pour les particuliers engagés dans des projets de construction, elle a élaboré une offre spécifique pour le raccordement à la fibre. Pour 2024, une offre à destination des professionnels et collectivités est en cours d'élaboration. Elle concerne les infrastructures de génie civil (principalement les fourreaux) nécessaires au passage de la fibre optique entre la rue et une parcelle privée. Détenu à 51 % par Bouygues Énergies & Services et à 49 % par Vauban Infrastructure Partners, l'entreprise Axione souhaite « accompagner les populations qui sont encore éloignées du numérique, et permettre à chacun de profiter des nouveaux réseaux FTTH. » ■



L'entreprise Axione est un acteur du déploiement de la fibre dans les territoires ruraux.

## ACQUISITION D'UNE ENTREPRISE AUSTRALIENNE SPÉCIALISÉE DANS LA SIGNALISATION FERROVIAIRE

Egis a signé un accord pour l'acquisition d'Omada Rail Systems, entreprise australienne spécialisée dans la gestion de projets de signalisation de l'industrie ferroviaire australienne. Fondée en 2016, Omada Rail Systems comprend 70 collaborateurs disposant d'un éventail diversifié de compétences spécifiques dans ce domaine et dans les télécommunications. Ces qualifications spécialisées sont en forte demande sur le marché actuel de l'Australie et de la Nouvelle-Zélande.

→ **Une gamme complète de services**

Avec cet accord, Egis consolide son offre ferroviaire sur l'île-continente. En effet, elle travaille déjà sur un certain nombre de projets importants : le City Rail Link à Auckland (NZ), le Queensland Train Manufacturing Program dans la région de Brisbane et le High Capacity Metro Train à Melbourne. Renforçant ainsi ses compétences dans les domaines de la signalisation et des télécommunications, cet engagement lui permettra d'offrir

une gamme complète de services et d'expertise ferroviaires dans toute la région. « Cet accord renforce notre ambition stratégique de devenir un acteur clé de l'ingénierie dans l'industrie ferroviaire et démontre notre engagement à investir et à croître sur les marchés dynamiques australiens et néo-zélandais. » a ainsi déclaré Adil Guissi, directeur du développement des transports urbains en Australie et Nouvelle-Zélande chez Egis. ■

## NOUVEAUX MARCHÉS POUR L'ENTREPRISE TENCATE AQUAVIA

L'entreprise TenCate AquaVia, spécialisée dans les solutions techniques pour dépolluer les eaux pluviales, a rénové le parking de plus de 1 000 m<sup>2</sup> de l'entreprise nord-américaine Cargill, basée à Grand Quevilly (76). Pour ce chantier elle a utilisé l'innovation qu'elle a développée pendant une dizaine d'années de R&D (voir revue Travaux 984). Il s'agit d'un aquatextile "InDi"Green" qui, une fois posé fait barrage aux hydrocarbures et aux Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) qui sont produits par la combustion des matières organiques (énergies fossiles, feux de forêt). Ce textile technique, structuré en bicouche, fixe les micropolluants et active ensuite leur biodégradation. Il est en effet conçu pour stimuler les micro-organismes du sol qui vont "manger" les hydrocarbures et HAP. Dépolluée, l'eau peut ainsi poursuivre son cheminement et préserver la biodiversité souterraine.

→ **Marché des parkings perméables**

Lancé fin 2022, cette innovation commence à se déployer dans des projets d'aménagement.

« Le chantier de Cargill est un exemple d'application d'InDi"Green, spécifiquement dédié au marché des parkings perméables, en pleine croissance. » précise Jean-Pascal Mermet dirigeant de TenCate AquaVia. Plus de 500 projets, en France et en Europe, ont ainsi été menés avec cette innovation, choisie également pour gérer les eaux pluviales du parking desservant la gare du futur village Olympique à Saint-Denis (93).

## ACQUISITION DE L'ENTREPRISE SPEPP

Le Groupe LT avec son entité Caupamat, acteur de la location d'équipements de chantier, a acquis la Société SPEPP spécialisée dans les palissades et panneaux de chantiers, les aménagements sur-mesure, ainsi que les marquages et signalisations pour les chantiers de construction de longue durée. Le rapprochement avec le Groupe LT va permettre à la SPEPP de poursuivre son développement. Basée à Orly, cette entreprise familiale emploie actuellement 40 personnes et couvre l'ensemble de la région francilienne. « Nos ambitions sont plurielles, à commencer par assurer la continuité des activités de la société, garantir la satisfaction de sa clientèle et permettre au Groupe LT de se déployer vers un nouveau marché avec l'appui d'une société d'expérience. », a déclaré *Eric Van Acker, Président du Groupe LT.*

## NOUVELLE OFFRE POUR LA TRANSFORMATION DIGITALE DES ENTREPRISES DU BTP

Spécialiste de la digitalisation des achats et des dépenses dédiées aux PME, Oxalys étend son champ d'action au secteur du BTP. Elle a acquis la société IA-BTP, implantée à Marseille, qui depuis 2018, accompagne des professionnels du BTP dans leur transformation digitale.

L'entreprise a lancé le premier "Robot Achat" qui doit simplifier la vie de leurs 150 entreprises clientes. Cette acquisition va apporter des moyens financiers et technologiques pour servir la stratégie de croissance d'IA-BTP.

## DEUXIÈME ÉTAPE POUR LE CHANTIER DE RESTAURATION DU LIT DE LA LOIRE



© NGE

Le projet de restauration du lit de la Loire a entamé sa seconde étape.

Pour réparer les multiples impacts sur les milieux naturels et la biodiversité qu'ont produit les aménagements des 19<sup>e</sup> et 20<sup>e</sup> siècles, Voies navigables de France (VNF) a engagé un vaste chantier de restauration du lit de la Loire entre Nantes et Angers. Après avoir mené une première phase en 2021, le groupement comprenant les entreprises Charier, NGE avec sa filiale Guintoli et CDES a entamé la seconde étape de ce projet. Les travaux consistent en l'abaissement, la réduction ou la suppression des épis de navigation pour redonner de la mobilité au chenal d'étiage et libérer les sédiments afin qu'ils se déposent là où le lit du fleuve s'est trop creusé. Le projet vise donc à restaurer l'équilibre du fleuve, tout en préservant ses différents usages.



© NGE

Les épis de navigation seront abaissés, réduits ou supprimés pour redonner de la mobilité au chenal.

Pour cette deuxième étape de ce chantier d'envergure, les travaux se dérouleront, en trois phases jusqu'en 2024, sur un secteur de 10 kilomètres, entre Anetz et Ancenis (44). Après avoir créé des accès pour atteindre les épis concernés, l'entreprise interviendra pour les remodeler voir les supprimer. Les enrochements qui les composent seront soit réutilisés soit évacués par voie fluviale. Une troisième étape est prévue ensuite sur les communes de Sainte-Luce-sur-Loire et Saint-Julien-de-Concelles, à partir de 2024. Le chantier de restauration du lit de la Loire est estimé à 42 M€ financés par l'Europe (fonds Feder) à hauteur de 20 %, la Région des Pays de la Loire 30 %, l'Agence de l'eau Loire-Bretagne 45 % et VNF 5 %. L'assureur Axa apporte une aide à VNF à hauteur de 100 000 €. ■

## UNE ALLIANCE AU SERVICE DE L'INGÉNIERIE

La force du collectif au service de l'ingénierie pour les projets de construction de bâtiments et d'infrastructures, est la ligne directrice du projet Quarco. Initiée par le bureau d'études Abak Ingénierie, en 2023, cette structure est une holding qui regroupe 15 bureaux d'études spécialisés implantés sur tout le territoire national.

Quarco tire son nom de "quark" particule élémentaire et concentré d'énergie et de "co" comme collaboratif, constructif... L'objectif est de gagner du temps pour répondre aux appels d'offres

par équipes avec des compétences transversales, qui permettront de concourir plus souvent. Projet par projet, cela permettra de mobiliser des experts reconnus dans leur domaine.

### → Structures béton, bois et métal

Cette alliance entraîne le travail en commun de 110 collaborateurs, des professionnels dans les domaines du gros-œuvre, de la promotion immobilière, de la construction ainsi que des architectes. Ce sont des ingénieurs structure (bois, béton, métal) dessinateurs projecteurs, chargés d'affaires, chefs de pro-

jets, économistes de la construction, BIM manager et maîtres d'œuvre.

Le collectif Quarco est ainsi spécialisé dans l'étude des structures béton, bois et métal d'un bâtiment ou d'une infrastructure, dans la gestion de l'économie de la construction et du management avec une prise en compte d'un projet dans sa globalité. Le collectif intervient comme Assistant à maîtrise d'ouvrage qui inclut « une expertise technique pointue, une gestion rigoureuse et une coordination efficace de toutes les parties prenantes. » ■

## INNOVATIONS DIGITALES AU SERVICE DE LA PRÉSERVATION DE L'EAU

Dans un contexte où la ressource en eau est un bien menacé, l'entreprise Lacroix a mis au point une innovation digitale qui a pour objectif de contribuer à la sobriété des usages, la sécurisation de l'approvisionnement et l'anticipation du stress hydrique. Cette offre dénommée Flowrison, s'appuie sur trois applications web qui répondent à ces enjeux. Réduire les fuites d'eau mais aussi limiter la consommation pour s'aligner sur l'objectif gouvernemental de baisser de 10 % les prélèvements (nappes phréatiques, eaux de surface) mais aussi favoriser une gestion efficiente des réseaux, sont des axes prioritaires.

### → Gestion en temps réel des installations sur le réseau d'eau

L'application LX Connect, centralise les données déployées au plus proche du

réseau, automatise la cybersécurité et facilite la gestion du parc des équipements Lacroix. Ainsi un exploitant peut connaître l'état de fonctionnement des postes de télégestion modulaires et planifier des campagnes de mises à jour logicielles sans se déplacer. Ce dispositif a déjà été déployé dans 20 collectivités en France. Autre application : LX Scada, un système de surveillance qui permet la gestion en temps réel des installations sur le réseau d'eau. Cet outil numérique est destiné aux exploitants de réseau pour faire interagir leur supervision logicielle avec l'ensemble des équipements et applications de télégestion. Cette innovation a déjà été déployée sur des sites pilotes en France mais aussi en Indonésie, en Espagne, au Maroc et au Mexique.

### → Réduction de 50 % des fuites d'eau

Et enfin, Aquawize est une offre de services proposant des tableaux de bord d'analyse de données permettant à l'exploitant de suivre la performance globale de son réseau et de sa sectorisation. S'appuyant sur l'intelligence artificielle, cet outil détecte automatiquement les anomalies de consommation permettant une analyse rapide des fuites d'eau par l'exploitant. Nevers Agglomération utilise cette solution. Et Lacroix annonce « une économie de 200 000 m<sup>3</sup>/an d'eau et une réduction de 50 % des fuites d'eau, depuis son installation en 2022. » Ces outils sont à la fois flexibles et faciles d'utilisation. Ils peuvent s'utiliser indépendamment les uns des autres mais aussi ensemble. ■

## SELLES DE BRANCHEMENT ÉLECTRO-SOUDABLE\*

L'entreprise Plasson a mis au point une autre méthode pour les dérivations, pour les réseaux, les purges, et les ventouses. Pour un réseau en polyéthylène soudé, les selles de branchement électro-soudable présentent l'intérêt d'offrir un gain de temps à la pose (pose du tube en continu), pour la soudure, un gain de sécurité de soudure (test de la soudure avant perçage) et un gain d'achat de fournitures plus économiques.

## UNE STATION MOBILE DE DÉSINFECTIION SÉCURISÉE ET CONNECTÉE\*

Graviwater a développé une station mobile de désinfection sécurisée et connectée pour les canalisations et des réservoirs. Pour éviter les manipulations répétées de produits dangereux lors de la désinfection des canalisations, cette station "Graviclean" a été pensée pour réduire l'impact environnemental en termes de déchets plastiques et de rejets de biocide et pour désinfecter les canalisations sans contact direct. Grâce au système de calcul intégré, il est possible de préparer informatiquement les chantiers et de faire un suivi informatisé des opérations (calcul de volume de la cuve, durée de l'opération, échantillonnage, alarmes si défaut de niveau) puis de récupérer le rapport Excel en fin de chantier. Les cuves sont réutilisables pendant 10 ans en changeant de recharge.

## UNE TABLETTE DÉDIÉE À L'ÉTAT DES VOIRIES



Les agents des collectivités localisent les dégradations et en précisent le type, l'étendue et la gravité sur une tablette.

La société toulousaine Sogefi a développé une tablette dédiée à la dégradation des voiries. Le clavier est spécialement conçu pour relever les différentes dégradations observées sur la chaussée : les fissures, les nids de poule, les défauts de marquage au sol, les affaissements, les faïençages... Ces informations géoréférencées permettent de connaître en temps réel de l'état de la voirie au travers

de vues cartographiques et de tableaux de bord dynamiques. En effet, en quelques clics, un agent technique d'une collectivité locale peut localiser par tronçon les dégradations et en préciser le type, l'étendue et la gravité.

### → Déterminer les priorités

Les relevés sont envoyés automatiquement sur l'application web Mon Territoire Voirie et des notes sont attribuées par

tronçon. Tablette et application sont des outils complémentaires qui facilitent au quotidien la gestion des voiries. Mais ce diagnostic d'état des chaussées est aussi un dispositif d'aide à la décision pour une planification pluriannuelle des travaux à réaliser. Les collectivités disposent ainsi d'une bonne connaissance du réseau et déterminent les priorités d'intervention des entreprises de Travaux publics. ■

\* Ces entreprises sont lauréates des Trophées Techniques & Solutions, organisée le 19 octobre 2023, à la Maison des Travaux publics par les Canaliseurs.

### SUPPORT DE FIXATION D'ÉCHELLE POUR UNE MEILLEURE SÉCURITÉ\*

Sade a mis au point un support de fixation d'échelle aimanté qui permet d'offrir une meilleure sécurité sur les chantiers. Disposer d'un dispositif de maintien d'une échelle, qui soit à la fois simple, léger et avec un faible encombrement, est une demande des équipes de terrain. Sur un support à surface métallique, une échelle conventionnelle est ainsi maintenue par plusieurs aimants.

Cela permet de sécuriser la montée ou la descente de l'utilisateur. Le support est constitué de deux supports pivotants et ajustables en largeur qui permettent de fixer et d'orienter l'échelle en fonction des configurations d'inclinaison.

### UNE APPLICATION POUR UNE INFORMATION OPTIMISÉE SUR LES CHANTIERS\*

Pour éviter que l'information ne soit perdue entre les différents acteurs d'un chantier, Kraaft a mis au point une application dédiée. Elle permet d'échanger en temps réel sur le terrain, de géolocaliser des photos sur la carte, d'éditer des rapports (constats, PV de réception, journaux...) sous Word ou Excel, et de partager des documents. La solution digitale permet un interface type WhatsApp avec une conversation par chantier. Tous les participants ayant accès à l'information, l'application favorise l'adhésion de tous, valorise les travaux effectués, réduit les déplacements inutiles et offre un service de reporting client.

\* Ces entreprises sont lauréates des Trophées Techniques & Solutions, organisée le 19 octobre 2023, à la Maison des Travaux publics par les Canaliseurs.

## POSE DE REGARDS ÉTANCHES INNOVANTS

La pose de regards polymère du fabricant Aco pour la modernisation d'un réseau d'assainissement vieillissant et défaillant à Rosnay-L'Hôpital (10) est une première en France. Le Syndicat Départemental des eaux de l'Aube (SDDEA) y mène un programme de réhabilitation qui passe par la pose de 7 regards en béton polymère. Les travaux ont commencé en juin 2023. « L'objectif principal des travaux est de rétablir l'étanchéité de l'ouvrage existant, au droit des zones ayant subi l'intrusion de racines, mais également de lui redonner de bonnes caractéristiques mécaniques, tout en améliorant ses performances hydrauliques, » déclare Jean-Philippe Depardon, chef de secteur chez NGE, entreprise qui réalise ce chantier. En raison d'une nappe phréatique haute, qui en période hivernale immerge totalement le réseau, NGE a proposé au SDDEA une solution alternative à la mise en œuvre d'ouvrages classiques en béton avec joints.

#### → 100 % d'étanchéité

« Notre choix s'est alors orienté vers les solutions monobloc en béton polymère du fabricant Aco, » précise le chef de secteur de NGE. Ce type de regards est largement utilisé en Allemagne et en Suisse, mais ce fut une première sur le territoire national. Dans ce cas précis, les regards fournis allaient de 2 mètres à 4,50 mètres de hauteur, le collec-



© ACO  
Pose d'un regard polymère du fabricant ACO pour la modernisation d'un réseau d'assainissement vieillissant et défaillant à Rosnay-L'Hôpital (10).

teur étant situé entre 1,30 mètres et 5 mètres. Après les travaux d'excavation, chaque zone a été sécurisée par la mise en œuvre d'un blindage permettant d'introduire les regards, qui par la suite ont été raccordés au réseau. La concep-

tion monolithique, en une seule pièce et sans joint, des regards Aco, garantit à l'ouvrage 100 % d'étanchéité, réduit la manipulation et donc le coût de mise en œuvre. Conçu pour durer 50 ans, le béton polymère est un matériau très léger qui assure aux regards une faible poids comparé à des produits en béton de même densité. Cela procure un avantage certain en termes de maniabilité.

#### → Solutions durables et innovantes

Ces équipements affichent une résistance à la corrosion élevée et une insensibilité au phénomène d'hydrogène sulfuré du fait de leur revêtement lisse. Outre la pose des 7 regards étanches, le chantier comprend aussi la rénovation du poste de refoulement (étanchéité, pompage, sécurité), celle de 7 autres regards classiques et, de la conduite de 250 mètres d'eaux usées, non visitable, par chemisage continu structurant. Aco est un groupe familial allemand créé en 1946, spécialisé dans les systèmes de drainage de surface et de prétraitement des eaux usées et de ruissellement. Il déploie des solutions durables pour la collecte, le traitement et le stockage des eaux pluviales et usées en vue de leur réutilisation. Après cette première expérience sur un chantier français, l'entreprise allemande souhaite déployer sa technologie sur d'autres projets liés à la modernisation des réseaux d'eau. ■



© ACO  
La conception monolithique, en une seule pièce et sans joint, des regards Aco, garantit à l'ouvrage 100 % d'étanchéité, réduit la manipulation.



# TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

Retrouvez l'actualité de la profession, les chantiers en images, les interviews des grands décideurs, le point de vue des ingénieurs. Pour réserver votre emplacement publicitaire dans Travaux, contactez :

## Prochains numéros :

- TRAVAUX n° 992 " Maintenance des infrastructures "
- TRAVAUX n° 993 " Travaux souterrains "



**Bertrand COSSON**

Tél. 01 41 63 10 31

[b.cosson@rive-media.fr](mailto:b.cosson@rive-media.fr)

## AGENDA

### FORMATIONS

Nous invitons les lecteurs à vérifier par internet que les formations annoncées dans cette rubrique sont maintenues, à quelle date et dans quelles conditions (en présentiel et/ou à distance).

#### • 4 AU 6 DÉCEMBRE

**Calcul aux éléments finis : application génie civil**

Lieu : Paris

<https://formation-continue.enpc.fr>

#### • 6 ET 7 DÉCEMBRE

**Confortement et réparation des ouvrages portuaires**

Lieu : Paris

<https://formation-continue.enpc.fr>

#### • 11 ET 12 DÉCEMBRE

**Gestion financière d'un chantier d'ouvrage souterrain**

Lieu : Paris

<https://formation-continue.enpc.fr>

#### • 18 AU 12 MARS

**Ponts métalliques et mixtes : conception & réalisation**

Lieu : Paris

<https://formation-continue.enpc.fr>

#### • 9 AU 11 AVRIL

**Limiter l'impact environnemental d'un chantier**

Lieu : Paris

<https://formation-continue.enpc.fr>

#### • 18 AU 20 JUIN

**Aménagements fluviaux - Dignes et berges : Conception, réhabilitation**

Lieu : Paris

<https://formation-continue.enpc.fr>

#### • 20 ET 21 JUIN

**Ponts ferroviaires : conception et réalisation**

Lieu : Paris

<https://formation-continue.enpc.fr>

### NOMINATIONS

#### ADEME

Patricia Blanc a rejoint l'ADEME en tant que directrice générale déléguée (DGD) en charge des opérations

et Baptiste Perrissin Fabert, DGD par interim, prend la fonction de directeur général délégué en charge de l'expertise.

#### CERTIVEA

Entreprise à mission, filiale du CSTB, spécialisée dans la certification et la labellisation des bâtiments non résidentiels, des infrastructures et des aménagements de territoires, annonce l'arrivée au 1<sup>er</sup> janvier 2024 de François Jallot à sa présidence.

#### UNICEM ÎLE-DE-FRANCE

Xavier Barth a été élu Président de l'Union nationale des industries de carrières et matériaux de construction (UNICEM) Île-de-France, pour un mandat de trois ans.



# EDF

## CONSTRUIRE ENCORE PLUS SOBRE, ENCORE PLUS PERFORMANT, ENCORE PLUS DURABLE

EDF s'engage pour la neutralité carbone d'ici 2050. L'entreprise utilise toutes les ressources de l'ingénierie et de la R&D dont elle dispose pour répondre à cet enjeu enthousiasmant. Elle joue un rôle de premier plan sur les grands thèmes de la transition énergétique tels que le développement des énergies renouvelables, le stockage, la mobilité électrique, l'autoconsommation et la décentralisation de la production et des usages, la ville durable, l'impact du digital sur le monde de l'énergie. S'agissant des Travaux Publics et du Bâtiment, la R&D d'EDF est plus impliquée que jamais pour susciter l'évolution de ce secteur d'activité et accompagner son évolution afin de l'aider à franchir le pas de demain qui va, sinon bouleverser tout au moins modifier profondément l'activité de construire, qu'il s'agisse de centrales nucléaires, d'ouvrages d'art, de routes, de bâtiments industriels, d'habitat individuel et collectif... **C'est cet engagement que nous présente Bernard Salha, directeur technique du groupe EDF et directeur général de la R&D d'EDF.** PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



1- Bernard Salha, directeur technique du groupe EDF et directeur général d'EDF R&D.

### Comment la transition énergétique est-elle perçue au sein d'EDF ?

Pour EDF, l'enjeu est absolument gigantesque autour de la transition énergétique et se présente sous des formes multiples.

Le premier est de décarboner le système énergétique. Il s'accompagne - deuxième objectif - de la volonté de maintenir un prix acceptable et peu variable pour l'ensemble de nos clients. Le troisième, qui est peut-

être le plus important, est celui de l'efficacité énergétique mais aussi de sobriété, c'est-à-dire en consommant mieux et moins avec des usages qui correspondent plus précisément aux besoins.

C'est une politique qu'EDF mène depuis plusieurs dizaines d'années et qui se traduit par deux grands champs : construire de nouveaux moyens de production d'électricité et augmenter la part de l'électricité dans le système énergétique.

FIGURES 1 & 2 © EDF - FIGURE 3 © DR



2- La centrale nucléaire de Cattenom dans le département de la Moselle mise en service entre 1986 et 1991.

3- La centrale nucléaire de Cattenom (Moselle) est la première à avoir vu ses installations complètement renouvelées par les travaux dits de "grand carénage" à partir de décembre 2016.

4- Le projet européen SCHEDULE (Steel Concrete High Efficiency Demonstration - eUropean colLaborative Expérience).

5- Détail du bâtiment à l'échelle 1 en structure mixte acier-béton (ou Steel-Concrete Structures - SCS) de SCHE-DULE.

## BERNARD SALHA : PARCOURS

Bernard Salha est ingénieur de l'École Polytechnique (X81) et ingénieur de l'École Nationale des Ponts et Chaussées (Ponts 86).

Il démarre sa carrière au ministère de la Défense à Cherbourg dans la construction des infrastructures nécessaires aux sous-marins français.

Il a une longue expérience dans le secteur nucléaire d'EDF où il a exercé diverses activités de conception, de construction, de maintenance et de démantèlement.

Entre 2005 et 2010, il dirige la division ingénierie nucléaire d'EDF et prend alors en charge le programme EPR en France.

À la fin des années 90, il est expatrié trois ans en Chine pour diriger pour EDF le développement de la construction de la centrale nucléaire de LingAo.

Il a près de 30 ans d'expérience dans le secteur nucléaire : depuis la R&D, la conception de base, l'ingénierie, la construction, la maintenance et la prolongation de la durée de vie des centrales nucléaires.

Il est élu président de la SNETP (Sustainable Nuclear Energy Technology Platform) en juin 2020. La SNETP, en tant que plateforme technologique pour l'énergie nucléaire durable, est l'une des plateformes d'innovation technologique de l'UE mises en place par l'UE. Il s'agit d'une association belge chargée de promouvoir la recherche et le développement nucléaire pour l'ensemble de l'UE, qui rassemble plus de 100 membres issus de l'industrie, de la sûreté nucléaire et de la recherche.

Outre la SNETP, il est membre de plusieurs conseils d'administration, tels qu'Enedis (la société française du réseau de distribution), EPRI (Electrical Power Research Institute), basé aux États-Unis, qui mène des activités de recherche sur le secteur de l'électricité et de l'énergie pour les services publics).

Bernard Salha a été nommé directeur technique (CTO) du groupe EDF en juin 2018. Il est également directeur général de la R&D d'EDF depuis 2010.

est de transformer ces usages qui utilisent actuellement des matériaux non décarbonés. Pour faire simple, développer la pompe à chaleur parce que la pompe à chaleur est décarbonée. Nous avons un paysage d'investissements qui couvre l'ensemble de ces sujets.

### Comment cela se traduit-il pour le monde des Travaux Publics ?

L'enjeu, pour le monde des Travaux Publics, est que beaucoup de ces activités que l'on développe ont une composante génie civil très importante. Quatre grands thèmes peuvent contribuer à ce que le génie civil, partie importante de nos installations, ait un impact aussi limité que possible sur son empreinte carbone.

Le premier est de faire en sorte que le produit de base des Travaux Publics - le béton, le ciment, les agrégats, le ferraille - puisse réduire son empreinte carbone.

Le deuxième est lié à la durabilité des ouvrages. Pour des raisons évidentes, si on arrive à exploiter des installations plus longtemps, on aura moins besoin d'en construire de nouvelles et on aura donc moins d'émissions CO<sub>2</sub>.

Le troisième concerne la construction neuve. Si on construit de façon plus efficace, dans des délais plus courts, de nouvelles installations, là aussi on gagne en émissions de CO<sub>2</sub>.

Le quatrième sujet est relatif à la recyclabilité des matériaux, qu'il s'agisse des granulats ou des aciers, auquel s'ajoute une notion un peu parallèle, qui est de faire en sorte que ces grands sujets évoqués soient applicables non seulement au secteur des Travaux Publics mais aussi au secteur du bâtiment, notamment tertiaire au sens large qui représente un très gros volume de l'activité du BTP. ▶

Aujourd'hui, l'électricité représente à peu près 20% de la consommation énergétique mondiale. L'idée est de passer de 20% à 50%.

En effet, l'électricité est facile à décarboner, notamment grâce au nucléaire et aux énergies renouvelables. Cela signifie que le volume d'électricité va considérablement augmenter dans les années qui viennent.

Pour EDF, cela signifie, sur le nucléaire, continuer à exploiter nos installations dans la durée, construire de nouveaux réacteurs - les EPR 2 - mais aussi construire de petits réacteurs, les SMR (Small Modular Reactor).

Dans le champ du renouvelable, c'est aussi construire de façon massive des moyens de production d'énergie tels que du solaire - le chiffre annoncé est

de 100 GW en France à l'horizon 2050, tels que l'éolien offshore et de l'éolien terrestre. Pour l'éolien offshore, on parle désormais de 30 GW en mer.

L'autre partie, qui est symétrique, est de faire en sorte que cette électricité puisse être utilisée pour des usages qui font appel actuellement à des moyens thermiques, consommant du gaz, du pétrole, voire du charbon. Notre volonté

© EDF

4



© EDF

5





© ERANIA

6



© ERANIA

7

## PLUS SUR **VeRCoRs**

La construction de VeRCoRs a débuté en août 2013, nécessitant 5000 tonnes de béton (\*). Inaugurée le 1<sup>er</sup> juin 2016 par Jean-Bernard Lévy, PDG d'EDF entre 2014 et 2022, la maquette est dotée de 700 capteurs et de 2 km de fibre optique pour mesurer la température, la déformation ou encore la teneur en eau du béton. Les milliers de données ainsi collectées en temps réel, permettront de mieux comprendre comment le matériau, intégré à la structure, évolue dans le temps.

Haute de 30 mètres, avec 16 mètres de diamètre, VeRCoRs est la première maquette de recherche d'une telle dimension.

La construction en béton est en fait une maquette vide qui reproduit à l'échelle 1/3 l'enceinte en béton d'un réacteur de 1300 MW. Elle servira exclusivement à tester le vieillissement du béton d'une telle enceinte, la troisième et ultime barrière de sûreté après celle du combustible et de la cuve.

Le gousset, qui assure à la base de l'enceinte de confinement la liaison avec le radier, le tampon d'accès pour les gros matériels, la console du pont polaire qui permet de manœuvrer des charges lourdes, la ceinture torique qui rassemble les câbles de précontrainte du dôme, le dôme lui-même et les traversées qui communiquent avec le bâtiment des auxiliaires nucléaires... Toutes les zones d'une enceinte réelle sont reproduites pour que la maquette représente parfaitement le comportement réel des enceintes de confinement.

Le bâtiment, dont la taille est unique pour un objet de recherche, est aussi une innovation numérique : 700 capteurs sont installés dans le béton ainsi que 2 kilomètres de fibre optique. Certains capteurs sont du même type que les capteurs installés sur les réacteurs existants, mais beaucoup plus nombreux. Près de 350 cordes vibrantes (sondes sonores qui permettent de mesurer le taux de déformation) sont installées ainsi que 200 sondes de température (qui permettent de mesurer le taux de fuite), contre respectivement 50 et 30 sur un réacteur du parc existant.

À ces capteurs traditionnels s'ajoutent des capteurs innovants. Des capteurs TDR et pulse permettent de calculer la teneur en eau du béton à partir de mesures électriques ou de perméabilité au gaz du béton. Ce profil de teneur en eau obtenu permet de se faire une idée sur les processus de vieillissement du béton. Parmi les paramètres étudiés, l'étanchéité du béton est clé et pourra être utilisée lors des examens décennaux.

Au total, 40 laboratoires, dont 2/3 internationaux, participent à l'étude de VeRCoRs, tandis qu'en parallèle, un VeRCoRs virtuel aide à exploiter la maquette et à profiter au mieux de ses données. La majorité des données scientifiques obtenues seront d'ailleurs partagées auprès de la communauté scientifique, a affirmé la direction d'EDF.

\* VeRCoRs a été construite par Eiffage.



© JACQUES BASILE

8



© EDF

9

6- VeRCoRS, maquette d'enceinte de réacteur nucléaire à l'échelle 1/3.

7- Vue aérienne du site de recherche et développement d'EDF "Les Renardières" à Ecuelles, en Seine-et-Marne.

8- Haropa Port-Le Havre a accueilli le site de construction des 71 fondations gravitaires des éoliennes du parc en mer de Fécamp.

9- Chargement des fondations des éoliennes du parc de Fécamp.

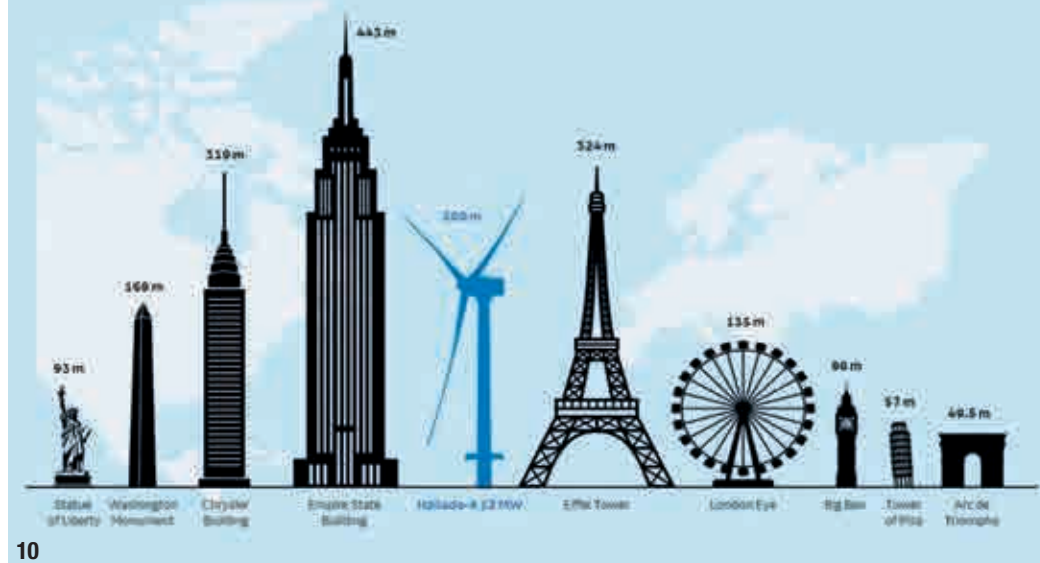
10- Une éolienne en mer de 15 MW constitue une structure très importante, de la taille de la Tour Eiffel avec une nacelle à 150 m au-dessus du niveau de la mer d'un poids de l'ordre de 800 t.

11- Chantier en mer du parc éolien de Fécamp en septembre 2022.

12- Les premières fondations en mer du parc de Fécamp en septembre 2022.

## UNE ÉOLIENNE EN MER DE 15 MW CONSTITUE UNE STRUCTURE TRÈS IMPORTANTE

de la taille de la Tour Eiffel avec une nacelle à 150 m au-dessus du niveau de la mer d'un poids de l'ordre de 800 t



10  
© EDF

Il faut que le bâtiment lui-même, dans sa conception et dans son exploitation, puisse être un facteur de gain et d'économie de façon significative sur les émissions de CO<sub>2</sub>.

### En ce qui concerne le béton, quelle est la démarche ?

Sur le champ d'optimiser les émissions de CO<sub>2</sub> autour du béton, on sait aujourd'hui que l'industrie, les grands acteurs du BTP comme les petits, font des efforts significatifs en la matière.

Si l'on se réfère aux ACV (Analyse de Cycle de Vie) disponibles, par exemple, dans le cas d'une centrale nucléaire, il n'y a aucune émission de CO<sub>2</sub> lorsqu'elle est en fonctionnement. En revanche, si on l'étudie en termes

d'ACV, en intégrant le coût de CO<sub>2</sub> de sa construction jusqu'à son démantèlement, ce coût est très faible, de l'ordre de 4 grammes par kWh d'électricité produite pendant toute la durée de vie de la centrale.

Les émissions moyennes en Europe se situent actuellement entre 300 et 400 g de CO<sub>2</sub> par kWh.

Pour autant, lorsqu'on regarde d'où vient le contenu de CO<sub>2</sub> de nos installations, la phase de construction en représente 59% dont 37% pour le ciment et 22% pour le ferrailage. L'essentiel des émissions vient donc de la partie construction.

Nous souhaitons donc que nos collègues de l'industrie du BTP - je sais qu'ils y travaillent déjà - réduisent encore cette empreinte. Il est possible

de faire en sorte que le contenu du ciment soit moins émetteur de CO<sub>2</sub>. Actuellement, la production mondiale de ciment représente 7% des émissions mondiales de CO<sub>2</sub>. EDF travaille déjà avec tous les grands acteurs de l'industrie du ciment pour capter le CO<sub>2</sub> provenant des cimenteries et le réutiliser avec de l'hydrogène pour produire des e-Fuel, des e-Kérosène et ainsi de suite. Nous aidons directement les cimentiers à émettre moins de CO<sub>2</sub>. La même logique s'applique à la fabrication de l'acier. Il est possible de fabriquer de l'acier par réduction du minerai de fer en utilisant de l'hydrogène plutôt que du charbon.

Nous souhaitons que l'industrie du BTP puisse utiliser ces nouveaux ciments et ces nouveaux aciers. ▶

© EDF

11



© EDF

12



D'autres solutions existent également autour de la fabrication proprement dite du béton armé. Est-il possible de fabriquer du béton armé avec moins d'acier ?

Par exemple, nous avons réalisé nous-mêmes un projet utilisant des bétons fibrés sur le barrage de la Coche en Savoie, dont la nouvelle usine a été inaugurée en octobre 2019.

Les travaux ont porté essentiellement sur le collecteur se trouvant à l'amont de l'ouvrage.

### Et à propos de la durée de vie des ouvrages ?

Au sein d'EDF, nous travaillons sur la durée de vie de nos centrales nucléaires. Nous pensons qu'elles pourraient être exploitées jusqu'à 60 ans, voire peut-être même jusqu'à 80 ans. Nous nous basons sur ce sujet sur l'exemple des Américains qui exploitent des centrales nucléaires dont la conception est identique à celle des nôtres et qui ont, globalement, dix ans de plus que les nôtres.

De plus, les autorités de sûreté américaines ont déjà donné, sur 6 centrales, des autorisations d'exploitation jusqu'à 80 ans. Ceci étant, il va sans dire qu'il faut produire toutes les justifications nécessaires et s'assurer que l'autorité de sûreté les valide avant de prendre toute décision.

La R&D d'EDF a construit à cet effet une maquette à grande échelle - VeRCoRS (pour Vérification Réaliste du Confinement des Réacteurs), située sur notre site EDF Lab des Renardières, près de Fontainebleau.

VeRCoRS est une maquette d'enceinte de réacteur nucléaire à l'échelle 1/3, qui permet d'étudier le vieillissement de manière accélérée des enceintes en béton. C'est un ouvrage de recherche

unique au monde qui permet à EDF d'étudier le vieillissement des enceintes à double paroi du parc électronucléaire (palier 1 300 MW), de manière accélérée. L'échelle 1/3 de la maquette permet une accélération du vieillissement d'un facteur 9. Le rapport de 1/3 est un optimum entre la représentativité de la maquette (à cette échelle, il est possible de représenter les principales caractéristiques d'une enceinte à taille réelle) et l'accélération du séchage qui est le "moteur" du vieillissement de la maquette.

Nous examinons également les questions d'étanchéité et nous sommes intéressés à ce que le monde du BTP au sens large se mobilise aussi sur

cette question pour mettre au point des revêtements d'étanchéité qui soient pérennes sur des données très longues. Il y a là deux défis : le premier est celui de la compréhension mécanique de ce qui se passe lorsqu'une enceinte vieillit et nous nous sommes donné les moyens de le faire, le second est celui de la pérennité des revêtements d'enceinte dans la durée.

### Le troisième sujet est relatif à construire mieux et plus vite. Que pouvez-vous en dire en ce qui concerne EDF ?

Construire mieux et plus vite permet de diminuer l'empreinte carbone. Sur ce point, le projet européen SCHE-

DULE (Steel Concrete High Efficiency Demonstration - eUropean collaBorative Expérience) a pour but de construire un bâtiment à l'échelle 1 en structure mixte acier-béton (ou Steel-Concrete Structures - SCS) pour démontrer la performance de cette technique de construction, qui représente une alternative intéressante au béton armé.

Dans la technique Steel Concrete, le béton est coulé entre 2 plaques d'acier reliées par des tirants. Ce "coffrage" peut être fabriqué en usine sous forme de modules déplaçant ainsi une part importante des travaux vers l'usine, ce qui permet un gain de temps sur le chantier.

## LA COCHE : L'INNOVATION APPLIQUÉE AUX ÉNERGIES RENOUVELABLES

**Deuxième chantier hydraulique le plus important en France après celui de Romanche-Gavet (Isère), la nouvelle usine hydroélectrique de La Coche en Savoie, inaugurée le 14 octobre 2019, est équipée de la roue Pelton la plus puissante de France (240 MW) et s'ajoute à la centrale souterraine déjà existante.**

**De type STEP (Station de Transfert d'Énergie par Pompage), mise en service en 1976, celle-ci remonte l'eau du barrage d'Aigueblanche vers la retenue de La Coche afin de constituer un stock d'énergie disponible à tout moment. La centrale de La Coche joue ainsi un rôle stratégique dans l'équilibre du réseau électrique et facilite l'intégration des énergies renouvelables variables au réseau.**

**Ce chantier innovant a fait appel à des robots, conçus par EDF, pour les travaux situés dans des zones difficilement accessibles afin d'assurer la sécurité des équipes et de préserver l'environnement. La roue Pelton a par ailleurs été fabriquée grâce à la technologie additive, c'est-à-dire par addition de matière par soudure laser.**

**Cet aménagement s'inscrit également dans le Plan Stockage Électrique d'EDF, dont l'objectif est de développer 10 GW de stockage supplémentaires dans le monde à l'horizon 2035.**

**13- La cuvette de l'aménagement hydroélectrique de La Coche en Savoie.**

**14- La Coche est le deuxième chantier hydraulique le plus important en France après celui de Romanche-Gavet (Isère).**

**15- Le bâtiment principal de la centrale de La Coche lors de la mise en place du rotor Pelton.**

**16- Mise en place du rotor de l'aménagement de type STEP (Station de Transfert d'Énergie par Pompage) de La Coche.**

© CHRISTOPHE HURET

13



© CHRISTOPHE HURET

14





17

© GAËTAN BERNARD



18

© GAËTAN BERNARD

Le bâtiment est l'enceinte d'un Diesel d'Ultime Secours (identique à ceux construits récemment sur les centrales du parc nucléaire). Aujourd'hui, la construction est terminée. Désormais, les chercheurs en génie civil de la R&D vont étudier le béton.

C'est un projet que nous avons mené au niveau européen avec plusieurs entreprises de Travaux Publics, qui bénéficie d'un financement européen et qui s'avère prometteur en termes de construction modulaire et de rapidité de construction.

Un deuxième exemple que je veux citer est celui des éoliennes offshore au large de Fécamp. Il se compose de 71 éoliennes posées sur le fond de la mer pour une puissance totale d'environ 500 mégawatts.

**17 & 18-  
Le parc éolien  
en mer de  
Saint-Nazaire :  
80 éoliennes à  
plus de 12 km  
de la côte.**

Les éoliennes sont localisées entre 13 et 24 km au large de Fécamp, sur une surface globale de 60 km<sup>2</sup>. L'emprise sur le fond marin représente moins de 1 % de cette surface.

Haropa Port-Le Havre a accueilli le site de construction des 71 fondations gravitaires qui seront amenées sur site puis ballastées. Chaque fondation pèse, vide, près de 5000 tonnes et mesure 31 mètres de diamètre à sa base. La hauteur de la fondation, allant de 48

à 54 mètres, varie selon la profondeur d'eau<sup>(1)</sup>.

C'est un très bel exemple de construction modulaire qui nous séduit parce qu'il permet de construire les fondations à terre dans des conditions quasiment industrielles.

Le défi suivant est celui de l'éolien flottant. Il faut être conscient qu'une éolienne en mer de 15 MW constitue une structure très importante, de la taille de la Tour Eiffel avec une nacelle à 150 m au-dessus du niveau de la mer d'un poids de l'ordre de 800 t, équivalent à celui d'un TGV avec des pales qui font l'envergure d'un très gros avion. Les flotteurs sont adaptés à la taille de ces machines : ils ont la superficie d'un terrain de football. Plusieurs projets d'éoliennes flottantes

sont en développement en France. Les projets actuels se situent plutôt autour 8 à 9 MW. Mais l'enjeu est de parvenir à réaliser les éoliennes les plus puissantes possible. L'innovation dans le flottant est de parvenir à passer à de très grandes structures.

Tous ces projets pourront être réalisés avec l'usage intensif du BIM (Building Information Modeling) de façon à concevoir et ensuite exploiter, le BIM permettant de disposer d'un jumeau numérique de l'installation et de la faire vivre dans la durée grâce à lui. Il est d'ailleurs important que le digital soit intégré de façon forte à toutes les étapes de la construction. C'est un souhait que nous avons et que nous voyons se développer très fortement dans toutes les entreprises de BTP. ▷



15

© CHRISTOPHE HURET



16

© CHRISTOPHE HURET

### Le quatrième sujet que vous avez évoqué est relatif au recyclage des matériaux. Quels sont vos souhaits à ce sujet ?

Le recyclage des aciers est déjà une réalité. En France, 95 % des aciers longs (poutrelles, plats, cornières), utilisés pour la construction, sont issus des produits de recyclage de la filière électrique des aciéristes, alors qu'en Europe, la quote-part de production d'acier secondaire n'est actuellement que de 50 % de la production.

Pour les granulats, la démarche est moins avancée mais elle existe déjà, par exemple dans le nucléaire, avec le recyclage des granulats des bétons lourds qui utilisent de la barytine.

La barytine est un composant qui permet de protéger davantage du rayonnement. Lorsqu'on démolit une installation nucléaire, l'idée est de pouvoir recycler les bétons intégrant ce matériau.

Un autre exemple est donné par les sédiments qui s'accumulent au fil des années en amont des barrages hydro-électriques. L'objectif est de les récupérer et de les utiliser à différents usages pour la composition de produits routiers ou comme matière première pour la fabrication de ciment.

De la même manière que l'on promouvait autrefois la réutilisation des cendres produites par les centrales thermiques - il n'y en guère plus en France - notre souhait est de promouvoir très fortement la "réutilisabilité" de tous les matériaux entrant dans la composition des bétons.

Nous considérons qu'il s'agit d'un enjeu très important. Il est souhaitable que le monde du BTP puisse travailler de façon forte sur ce sujet - le recyclage des matériaux de toutes sortes - et pas seulement sur le recyclage des aciers.

## LA R&D D'EDF EN BREF

**Avec un effectif de 2000 personnes, la R&D d'EDF couvre toutes les activités du groupe, de la production (nucléaire, hydroélectricité, énergies renouvelables, thermique) à la vente et aux services, en passant par le réseau (réseau national et micro-réseaux).**

**Centrée sur le climat, l'électrification et les transitions numériques, la R&D d'EDF prépare les activités du futur d'EDF telles que la R&D&I dans le secteur nucléaire, l'expertise pour les centrales existantes, les nouveaux projets nucléaires, la croissance de la production d'énergie renouvelable associée au stockage, la mobilité électrique et la recharge intelligente pour les véhicules électriques, l'hydrogène pour le transport et l'industrie, les villes intelligentes, la décarbonisation des bâtiments, les smart grids, l'intelligence artificielle, la blockchain, l'IOT et la 5G pour le secteur de l'électricité, les développements de réseaux tels que les microgrids, les réseaux alternatifs et continus, la fiabilité du réseau.**

Cela est déjà réalisé partiellement grâce à la mobilisation du monde du BTP. Des progrès significatifs sont apparus mais nous souhaiterions que la démarche aille plus loin.

### Le dernier sujet que vous souhaitez évoquer est celui du Bâtiment. Qu'est-il possible de faire dans ce secteur ?

Sur le Bâtiment, il y a tout d'abord un enjeu fondamental d'exploitation et nous prônons à cet effet le recours systématique à des pompes à chaleur en remplacement de chauffages à partir de fuel ou de gaz, voire de charbon. La pompe à chaleur est un moyen d'utiliser de l'électricité décarbonée et aussi, il faut le savoir, de l'énergie renouvelable puisque la pompe à chaleur puise son énergie dans l'air du milieu ambiant ou de l'air extérieur. Est sortie en 2020 la réglementation thermique RE2020 qui définit les méthodes pour mettre en œuvre ces

**19- EDF a réceptionné à l'automne 2020 le premier emballage de déchets radioactifs sur sa nouvelle installation de conditionnement et d'entreposage de déchets activés (ICEDA) sur le site de la centrale nucléaire du Bugey (Ain). 20- ICEDA a été conçue et construite par EDF pour réceptionner, conditionner et entreposer des déchets issus de ses centrales en exploitation.**

dispositions et qui est en vigueur depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2022. Il est important que le monde du Bâtiment au sens large se saisisse complètement de ces questions et les intègre complètement à la construction neuve mais aussi dans les rénovations.

Tout ce dont je viens de vous parler précédemment s'applique en totalité au monde du Bâtiment : utiliser le BIM, produire des bétons avec un faible contenu en CO<sub>2</sub>, recycler les matériaux. Il ne faut pas réserver les quatre premiers points évoqués à des travaux rares ou spéciaux tels qu'un ouvrage d'art exceptionnel ou une nouvelle centrale nucléaire. Ils peuvent s'appliquer à de l'habitat individuel et à de l'habitat collectif ou tertiaire.

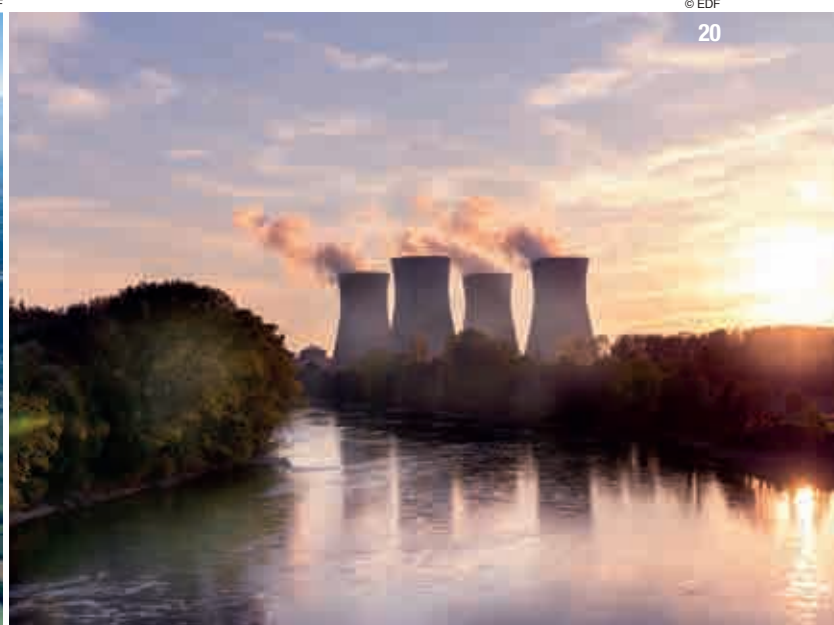
Chez EDF, nous sommes très motivés sur ces questions et très intéressés à ce que l'industrie du BTP au sens large s'y implique. Nous sommes tout à fait conscients que des réalisations ont déjà été effectuées dans ce sens mais nous voudrions qu'il se produise comme une accélération.

### Quel message souhaitez-vous faire passer après l'évocation de tous ces sujets d'avenir ?

Nous avons besoin de construire de façon encore plus sobre, encore plus performante et pour des constructions encore plus durables.

Lorsque je dis encore plus sobre, cela fait référence, par exemple, au contenu en CO<sub>2</sub> du béton. Encore plus performante, cela veut dire construire plus vite, plus efficacement. Encore plus durables, cela signifie qu'il est nécessaire que nos installations puissent durer le plus longtemps possible. □

1- Le projet est réalisé par Bouygues TP, Saipem, Boskalis.




# DEPUIS 70 ANS AUX CÔTÉS DU BTP

Acteur de référence du BTP, nous sommes aux côtés des entreprises, artisans, salariés et retraités de ce secteur pour les protéger, les assurer et les soutenir en cas de besoin. Nous nous engageons chaque jour à proposer des services qui vous aident à avancer avec sérénité.



CONTACTEZ-NOUS AU

 **04 72 42 17 90**

OU RETROUVEZ-NOUS  
SUR NOTRE SITE  
[www.probtp.com](http://www.probtp.com)







1  
© DIE

# DI ENVIRONNEMENT DU DÉSAMIANTAGE À LA DÉPOLLUTION GLOBALE

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

SI LE DÉSAMIANTAGE D'UN OUVRAGE, QUEL QU'IL SOIT, FAIT DÉSORMAIS PARTIE INTÉGRANTE ET MÊME OBLIGATOIRE DE TOUT CHANTIER DE RÉNOVATION OU DE DÉMOLITION, TEL N'ÉTAIT PAS LE CAS EN 1987 LORSQUE FUT CRÉÉE PAR FRÉDÉRIC ROSATI DAUPHINÉ ISOLATION QUI ALLAIT DEVENIR PAR LA SUITE DI ENVIRONNEMENT, DIX ANS AVANT LA PUBLICATION DE LA LOI AMIANTE. FAIRE AINSI FIGURE DE PRÉCURSEUR NE L'EMPÊCHE PAS POUR AUTANT DE S'IMPOSER ASSEZ RAPIDEMENT AUPRÈS DE MAÎTRES D'OUVRAGE SOUCIEUX AVANT L'HEURE D'ENVIRONNEMENT, TANT EN CE QUI CONCERNE L'ISOLATION ET LE DÉSAMIANTAGE QUE, PLUS GÉNÉRALEMENT, LA DÉPOLLUTION SOUS TOUTES SES FORMES. CE QUE NOUS EXPLIQUE HUGO ROSATI, PRÉSIDENT-DIRECTEUR GÉNÉRAL DU GROUPE DI ENVIRONNEMENT.

Depuis sa création, DI Environnement n'a cessé de se développer en France et à l'international avec le souci constant d'innover et de proposer des solutions inédites, ce qui lui permet d'être aujourd'hui le premier acteur global de la dépollution dans le retrait et le traitement de tous types

de polluants : amiante, plomb, fibres céramiques réfractaires, métaux lourds, polluants organiques...

## DIX ANS AVANT LA LOI AMIANTE

Tout a démarré en 1987, lorsque Frédéric Rosati fonde Dauphiné Isolation, une société dédiée à l'isolation pro-

## 1- Chantier de dépollution de sols.

jetée afin de développer un métier et une technique, nouveaux à l'époque en France, à la suite d'expériences qu'il avait eues lui-même, en famille, avec Georges Rosati, le grand-père de Hugo Rosati actuel PDG de DI Environnement. Cela correspond également à une période à laquelle les normes sur la

sécurité incendie et sur l'isolation des bâtiments sont en pleine évolution. Les débuts de Dauphiné Isolation sont modestes. Frédéric Rosati dispose de très peu de moyens : une camionnette et quelques compagnons. Son frère jumeau Rodolphe le rejoint assez rapidement et, ensemble, ils développent cette activité au départ dans leur région d'origine : Montélimar et les alentours, plus généralement le Dauphiné. Puis, très rapidement, leurs interventions s'élargissent à Bordeaux et Paris puis à l'ensemble de l'hexagone.

Dauphiné Isolation prend peu à peu une dimension nationale jusqu'à ce que s'opère en 1995 une diversification qui est la conséquence d'une nouvelle réglementation vis-à-vis de l'amiante : la dangerosité du matériau est mise en évidence, surtout en ce qui concerne le calorifugeage et le flocage, matériaux très affectés par leur simple érosion à l'air. L'interdiction de l'amiante interviendra en France le 1<sup>er</sup> janvier 1997. Toutefois, la préoccupation vis-à-vis de l'amiante prend forme, à telle enseigne que les responsables de la maison d'arrêt de Fleury-Mérogis, désireux de rénover les flocages du bâtiment, tous à base d'amiante, font appel à Dauphiné Isolation pour cette opération.

**2- Hugo Rosati, président-directeur général de DI Environnement.**

**3 & 4- Préparation d'un compagnon à l'entrée d'une zone amiantée.**

© MARC MONTAGNON



## HUGO ROSATI : PARCOURS

**Hugo Rosati est diplômé de l'EDC Paris Business School (2013). Il est titulaire d'un master 2 de "Finance Contrôle Audit" et d'un master spécialisé en montage d'aménagement et d'opérations immobilières à l'ESPI Paris.**

**Après avoir effectué pendant ses études des stages chez des maîtres d'ouvrage, ce qui lui a permis de se familiariser avec la gestion des opérations immobilières et des projets d'aménagement, leur financement, leur montage, il rejoint DI Environnement en 2014, poursuivant la tradition familiale initiée avec son grand-père puis son père.**

**Après avoir été successivement compagnon, chef de chantier, conducteur de travaux, chargé d'affaires, il crée en 2016 l'agence de Lyon de DI Environnement dont il assure le développement jusqu'en 2017 où, rejoignant Montélimar, berceau de l'entreprise, il en devient directeur général.**

**Depuis 2020, Hugo Rosati est président-directeur général de DI Environnement.**

## FLEURY-MÉROGIS : LA PREMIÈRE RÉFÉRENCE

L'obtention de ce chantier, le plus important de ce type en France à l'époque, place d'emblée l'entreprise comme initiateur en regard du traitement de l'amiante, d'autant que Dauphiné Isolation s'inspire de techniques existant déjà en Europe, notamment en Italie. Le chantier de rénovation est devenu de fait un chantier de désamiantage.

*« Nous avons défini l'analyse de risque propre à ce chantier et à ce matériau peu connu, imaginé des procédés que nous avons ensuite validés avec l'Inspection du Travail en l'absence de toute réglementation dédiée, en l'absence du matériel spécifique et de toutes ces méthodologies qui n'existaient pas en France à l'époque. Ce faisant, nous sommes devenus précurseurs du retrait de l'amiante dès 1995, avant la promulgation de la loi sur l'interdiction de l'amiante en 1997. Toutefois, les maîtres d'ouvrage étaient déjà soumis à un principe de sécurité et la prévention commençait à se mettre en place. Mais c'était à l'entreprise de proposer et c'est cela qui nous a ouvert les portes de ce marché et qui nous a permis de remporter celui de Fleury-Mérogis. »*

Ce premier grand chantier lance l'entreprise, d'autant, qu'à cette époque, la demande pour retirer les flocages est en pleine augmentation et cette activité est développée au sein de Dauphiné Isolation dans une vraie complémentarité avec l'isolation : lorsqu'on retire un flocage, il faut le remplacer. ▷



© DIE

© DIE

Début des années 2000, l'entreprise est présente sur tout le territoire français mais les deux métiers - désamiantage et projection - sont devenus trop importants pour être conservés au sein d'une société unique.

C'est à cette époque que DI Environnement est créée spécialement pour la poursuite de l'activité désamiantage tandis que DI Projection est créée pour l'activité projection et isolation. Les deux frères Frédéric et Rodolphe Rosati se séparent et chacun prend la tête de chacune des deux nouvelles sociétés. À noter que DI Projection (dont les activités sont regroupées sous GDI) poursuit aujourd'hui indépendamment son activité dont elle est d'ailleurs leader en France.

De son côté, DI Environnement continue sa croissance et même s'internationalise aux côtés de grandes entreprises françaises de Travaux Publics et de Bâtiment et du secteur de l'*oil & gas* : interventions sur des plateformes pétrolières, sur des sites de stockage de pétrole en Afrique, chantiers d'envergure dans les ambassades françaises dans le monde, toujours à propos des flocages figurant sur la liste A (flocages, calorifugeages, faux-plafonds), c'est-à-dire à surveiller voire à retirer si la surveillance établit qu'ils sont dangereux. « Il faut savoir que l'amiante a été utilisée dans quasiment tous les matériaux de construction : flocages mais aussi peintures, enduits, joints. Aujourd'hui, grâce à l'évolution des techniques d'identification et de repérage de l'amiante, nous en retrouvons de plus en plus. Auparavant, les diagnostics étaient sommaires et ne prenaient pas en compte les différentes couches figurant dans les matériaux du second œuvre alors qu'aujourd'hui nous savons



5 © DIE

*différencier une peinture d'un enduit, d'un plâtre, d'un joint. Nous allons plus loin dans le repérage, ce qui nous a d'ailleurs amenés à réintervenir sur des bâtiments qui avaient déjà été traités. »*

#### DÉVELOPPEMENT GÉOGRAPHIQUE EN FRANCE ET À L'EXPORT

À partir de 2014, DI Environnement poursuit sa croissance sur le métier du retrait de l'amiante, continue de se développer géographiquement mais infléchit également ses interventions,

**5- Le chantier de la tour INSEE à Malakoff, dans les Hauts-de-Seine.**

**6- Conception et fabrication sur mesure de matériaux spécifiques.**

**7- Utilisation d'engins innovants en désamiantage.**

passant du mode "grands projets" à celui d'opérations très diffuses, quasiment ponctuelles durant une ou deux journées.

De très nombreuses agences sont ainsi ouvertes en France pour développer l'approche "service" auprès de clients de toutes tailles : du nord au sud, l'entreprise est présente à Dunkerque, Lille, Paris, Strasbourg, Chalindrey, Rennes, Nantes, Cholet, Saintes, Bordeaux, Toulouse, Lyon, Montélimar, Nice, Marseille, Aix-en-Provence, Bastia.



6 © DIE



7 © DIE

8- L'usine de démantèlement de 5 000 m<sup>2</sup> de Chalindrey.

9- 1 300 voitures Corail vont être désamiantées et recyclées à Chalindrey.

10- L'un des robots de désamiantage de l'usine de Chalindrey.

11- Le nouveau centre de démantèlement à Saintes en Charente Maritime.

12- Le centre de Saintes accueillera des rames de métro, des locomotives, des vannes de barrage, des charpentes métalliques et, d'une manière générale, tous les équipements industriels pollués.

© DIE



8



© DIE

9



© DIE

10

Parallèlement, l'internationalisation est renforcée en Afrique : Algérie, Côte d'Ivoire et Gabon. La filiale d'Abidjan, par exemple, comprend une quarantaine d'opérateurs travaillant dans la plupart des pays d'Afrique francophone. Cette présence en Afrique permet de répondre aux demandes des grands comptes essentiellement français mais aussi nord-américains, qui ont une culture du traitement de l'amiante. Elle représente 5% du chiffre d'affaires de l'entreprise.

« Un point important chez DI Environnement est que nous fabriquons nous-même le matériel que nous mettons en œuvre principalement pour nos besoins, et éventuellement pour des industriels. Cela représente une quinzaine de personnes qui fabriquent nos matériels sur notre base logistique de Montélimar. Cette fabrication s'applique à deux familles de matériels : le matériel dit "générique" et le matériel dit "spécifique". La première concerne les extracteurs d'air, de toutes formes et

de toutes tailles, les sas de décontamination, les unités de filtration de l'eau. Les matériels spécifiques sont des appareils de retrait pour le burinage, le ponçage, développés généralement pour des chantiers particuliers, dimensionnés en fonction des caractéristiques du bâtiment à désamianter. Ces appareils sont mécanisés ou robotisés pour réduire la pénibilité du travail. »

À partir de 2019, des secteurs de diversification sont identifiés afin de préparer l'avenir de l'entreprise.

Cinq secteurs sont ainsi définis, représentant aujourd'hui l'ensemble de l'activité de DI Environnement : **#Deconta** : retrait de l'amiante autres polluants dans les bâtiments et l'industrie (60%), **#Remediation** des sols et gestion des déchets (10%), **#Surfaces** : décapage de surfaces polluées et remise en peinture (10%), **#Recycle** : dépollution d'équipements en installation fixe en vue de leur recyclage ou réemploi (20%) et **#Energies**, le plus récent, en cours de développement et qui com- ▷



11

© DIE



12

© DIE



13  
© DIE

porte une branche de mise en place de panneaux photovoltaïques en remplacement de toitures amiantées ainsi qu'une branche de méthanisation des déchets industriels.

Au retrait de l'amiante qui demeure encore l'activité principale s'est ajouté le déplombage qui demande des techniques et des matériels similaires et qui a est donc intégré de manière assez naturelle dans l'offre "**#Deconta**".

### 1300 TRAINS CORAIL À CHALINDREY

Dans les secteurs identifiés, **#Recycle** représente celui qui connaît le développement le plus important en termes de volume d'activité.

Pour le réaliser, DI Environnement a construit en 2020 à Chalindrey, en Haute-Marne, une usine entièrement robotisée de 5 000 m<sup>2</sup> en vue de dégarnir, désamianter et recycler 1 300 voitures Corail jusqu'en 2029. Le marché que la SNCF a attribué à l'entreprise représente son plus gros marché à ce jour. Le centre de démantèlement que DI Environnement a créé

## 5 MÉTIERS

**#Deconta** : désamiantage, déplombage et dépollution des bâtiments et des industries.

**#Remediation** : études, ingénierie et travaux de dépollution des sols, gestion des déchets.

**#Surfaces** : décapage de surfaces polluées et remise en peinture.

**#Recycle** : démantèlement, dépollution et recyclage des équipements.

**#Energies** : retrait de toitures amiantées et mise en place de panneaux photovoltaïques, méthanisation des déchets.

à Chalindrey pour ce chantier est susceptible d'accueillir d'autres activités, comme d'autres marchés de la SNCF ou d'autres marchés de démantèlement ou désamiantage.

« Nous avons été retenus pour ce marché, précise Hugo Rosati, parce que nous avons créé un processus industriel de démantèlement robotisé qui décape les surfaces amiantées sans que les opérateurs soient exposés, ce qui les met à l'abri de la pénétration et de la dangerosité du travail qui existaient précé-

demment pour ce type d'intervention. Par ailleurs, ce robot utilise un abrasif recyclable jusqu'à 40 fois plutôt que du sable. C'est cette innovation qui nous a permis d'accéder à ce marché. Depuis, forts des excellents résultats obtenus à Chalindrey, nous avons construit en 2022 un deuxième procédé industriel à Saintes, en Charente-Maritime. Outre les trains, ces installations dépolluent également des rames de métro, des locomotives, des vannes de barrage, des charpentes métalliques et, d'une manière générale, tous les équipements industriels pollués en vue soit de les revaloriser par recyclage des aciers, soit de les rénover par remise en peinture. »

À noter que 637 panneaux photovoltaïques d'une superficie de 1 200 m<sup>2</sup> sont en place sur la toiture de ce complexe industriel de démantèlement fournissant 261 kWc de puissance.

### #SURFACES : LES STRUCTURES MÉTALLIQUES

Le **#Surfaces** concerne la pollution sur les structures métalliques, qu'il

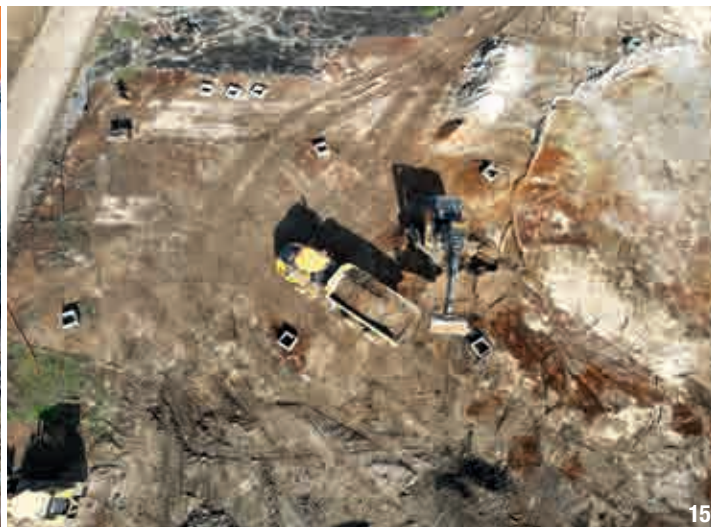
13- Déplombage et remise en peinture d'un ouvrage métallique.

14- L'entité DIE Remediation est certifiée par le LNE pour le domaine des Sites et Sols Pollués.

15- Chantier de réhabilitation d'un site pollué.



14  
© DIE



15  
© DIE

s'agisse d'ouvrages d'art, de gares, de bâtiments industriels.

Il s'agit là d'un métier très particulier car la technique de retrait mise en œuvre procède exclusivement du sablage et du décapage par ultra-haute pression.

Ce que DI Environnement apporte à cette activité qui relève du secteur de la peinture industrielle, c'est sa connaissance approfondie de la dépollution. L'entreprise est ainsi qualifiée pour intervenir, avec ses matériels propres et sur site, sur toutes les structures métalliques qui contiennent du plomb ou de l'amiante. Elle l'est également pour la remise en peinture anti-corrosion ou intumescente de ces ouvrages.

## #REMIATION : L'ARRIVÉE DES SPÉCIALISTES EN DÉPOLLUTION DES SOLS D'ARCADIS

Le **#Remediation** est le plus récent puisqu'il correspond à l'acquisition de l'activité "Sites & Sols Pollués et gestion des déchets" d'Arcadis ESG France, le 1<sup>er</sup> septembre 2022. Cette opération permet au groupe DI Environnement de compléter son offre en proposant une palette d'expertises couvrant l'ensemble des activités de la dépollution, y compris celle des sols. Au total, ce sont 80 collaborateurs sur 7 implantations distinctes qui ont rejoint les équipes du groupe sous la bannière DIE Remediation. Avec des implantations indépendantes et le maintien de toute l'organisation actuelle (organisationnelle et managériale), les équipes DIE Remediation apporteront leur expertise en réhabilitation des sites et sols pollués (diagnostic et évaluation des risques, travaux de dépollution, Assis-



16  
© DIE

**16- Le démantèlement de trois sous-marins Diesel (SMD) de la Marine Française de classe Agosta dans le port de Brest.**

**17- Le pont transbordeur du Martrou à Rochefort, en Charente-Maritime a constitué, en 2017/2019, un important chantier de décapage de peinture amiantée et de remise en peinture.**

tance à Maîtrise d'Ouvrage/Maîtrise d'Œuvre) et en gestion des déchets. Dotés d'une expérience unique, les ingénieurs DIE Remediation proposent des solutions globales et à forte valeur ajoutée tout au long du cycle de vie des projets de dépollution.

En 2021, l'activité Sites & Sols Pollués et gestion des déchets d'Arcadis ESG France a réalisé un chiffre d'affaires de 10 M€.

Cette intégration permettra de créer une nouvelle proposition de valeur favorisant de nouvelles synergies avec les activités historiques du groupe.

L'entité DIE Remediation est certifiée par le LNE pour le domaine des Sites et Sols Pollués conformément aux exigences du référentiel de Certification de service des prestataires dans le domaine des Sites et Sols Pollués et à celles des normes françaises NF X 31-620 relatives aux Sites et Sols Pollués.

L'entité bénéficie aussi des autres certifications du groupe telles que le MASE pour l'intervention dans les milieux industriels et Qualianior pour les milieux ionisants.

« En plus d'intégrer un nouveau métier, précise Hugo Rosati, cette acquisition nous permet de nous placer plus en amont dans les solutions à apporter à

nos clients, grâce notamment aux missions de repérage et de conseil. Désormais, nous sommes donc en mesure d'adresser à nos clients la meilleure proposition, qu'elle soit précisément focalisée sur une mission particulière ou bien qu'elle soit globale et couvre tout le cycle des travaux de dépollution et valorisation d'un actif. »

Cette intégration d'Arcadis permet à DIE Remediation de pratiquer le traitement in situ des sols pour en retirer les polluants suivant plusieurs techniques ainsi que la remédiation dite "douce" qui fait appel, dans un temps assez long, voire très long, à la phyto-remédiation avec l'utilisation de plantes ou de solutions bactériologiques afin de résoudre le problème de la pollution avant d'accueillir un projet d'aménagement.

L'acquisition d'Arcadis est importante car elle permet à DI Environnement d'être désormais l'un des acteurs les plus complets dans sa vision d'être un acteur global dans la dépollution.

Le grand terrib de Wattrelos, dans le Nord, illustre cette activité, même si les débuts de ce chantier sont antérieurs à l'acquisition d'Arcadis.

De 2011 à aujourd'hui, DIE Remediation a été missionnée pour réaliser des travaux de traitement in situ, afin de gérer la pollution liée aux activités historiques de minage dans la région, et a notamment réalisé les missions suivantes :

- La conception et mise en œuvre de pilotes en laboratoires (2005) et sur le terrain (2009) ;
- La conception et la réalisation de travaux par bioremédiation (In situ Reactive Zone - IRZ), via l'injection de mélasse, pour engendrer la précipitation des métaux (notamment le Chrome VI) sous forme non soluble et moins toxique (Chrome III) ;
- L'installation de 140 puits d'injection et de monitoring de la nappe du terrib ;
- La pose de 1,5 km de tranchées d'injections au toit du terrib ;
- Le traitement physico-chimique complémentaire des eaux d'exhaure ;
- La réfection de l'intégralité de la couverture au toit du terrib pour diminuer la quantité de lixiviats générés par percolation des eaux météoriques.

« Notre implication a permis de convaincre notre client de mettre en place une solution par traitement IRZ, indique Hugo Rosati, plutôt que de continuer à traiter les lixiviats hors site. ▽



© DIE  
17

Cette solution est plus économique et conforme aux principes du Développement Durable. À ce jour, elle a déjà permis un abattement de 90 % des concentrations en Chrome VI au sein du terriL. »

Enfin, l'activité **#Remediation** porte une offre stratégique dans le développement du groupe : le traitement des composés perfluoroalkylés et polyfluoroalkylés (PFAS). Qualifiés de "polluants éternels" les PFAS représentent un enjeu nouveau et majeur de santé publique, en témoignent les récentes études et lois promulguées dans le monde et notamment en France où s'opère actuellement une réelle prise de conscience de cette problématique. Avec un retour d'expérience sur le repérage des PFAS et des solutions adaptées à de multiples composés et milieux, DI Environnement est en mesure d'accompagner ses clients avec des offres sur mesure.

### 650 COLLABORATEURS, 26 IMPLANTATIONS

Aujourd'hui, le groupe emploie 650 collaborateurs, dispose de 26 implantations en France et à l'export et réalise en 2023 un chiffre d'affaires de 100 millions d'euros. Il traite de l'ordre de 1200 chantiers par an et investit annuellement 5 millions d'euros en recherche et développement.

La répartition de ses effectifs illustre d'ailleurs l'étendue des compétences dont il dispose dans son domaine de prédilection : 400 collaborateurs formés sous section 3, 60 opérateurs plomb "prévention risque plomb", 25 collaborateurs formés en radioprotection, 60 opérateurs formés "risques chimiques et ATEX"<sup>(1)</sup>, 20 opérateurs qualifiés en peinture anti-corrosion (ACQPA)<sup>(2)</sup>, 80 spécialistes de la dépollution des sols.

### #ENERGIES : PHOTOVOLTAÏQUE ET MÉTHANISATION

Le **#Energies** constitue une entité à part dans l'organisation du groupe. Cette structure est constituée de deux sociétés d'investissement : DI Solar et Eve. La première propose le retrait de toitures en amiante-ciment et leur remplacement par la mise en place de panneaux photovoltaïques, qu'il s'agisse d'entreprises industrielles ou de logistique et commerce. Leur installation peut aider au financement des travaux soit par l'auto-consommation de l'énergie produite, soit par la participation d'un investisseur qui prend en charge une partie des travaux contre

l'exploitation des panneaux, en l'occurrence DIE Solar.

Eve recouvre un projet plus large : celui de la production de biogaz à partir de déchets organiques. Cette activité est en synergie avec **#Remediation** et certains des clients de l'entreprise qui ont des projets de gestion de leurs déchets et de reconversion industrielle sur la base des énergies renouvelables. Ces deux filiales ne sont pas intégrées dans le périmètre de DI Environnement précédemment évoqué mais travaillent en synergie avec elle.

Un exemple de réalisation DI Solar : Devès à Saint-Symphorien-sous-Chomérac (Ardèche).

« Le site industriel Devès, indique Hugo Rosati, contenait plus de 6000 m<sup>2</sup> de toitures composées de plaques ondulées en amiante-ciment. Sur ce chantier, la contrainte principale pour nos équipes était de réaliser les opérations de désamiantage en réduisant au maximum l'arrêt d'exploitation de chaque

**18 & 19- Pour la poste du Louvre, DI environnement a retiré tous les revêtements à base d'amiante et de plomb recouvrant la structure.**

**20- Désamiantage avant démolition d'un ensemble d'immeubles d'habitation.**

**21- Travaux de désamiantage d'un ensemble immobilier.**

**22- Désamiantage d'une toiture après un sinistre et pose d'une nouvelle toiture en panneaux photovoltaïques.**

**23- Travaux de peinture anti-corrosion sur un portique de manutention.**

atelier du site. À la suite des travaux de désamiantage, les toitures concernées ont été dotées d'une nouvelle couverture avec bacs acier et isolation thermo-acoustique en feutre tendu.

Les équipes de notre filiale DI Solar ainsi que ses partenaires ont pris le relais pour installer sur la toiture une centrale photovoltaïque d'une puissance de 640 kWc avec près de 3000 m<sup>2</sup> de panneaux photovoltaïques. Un bel exemple de réhabilitation environnementale. »

### QUELQUES RÉFÉRENCES PARMIS DES CENTAINES

Parmi plus de 8000 chantiers réalisés par DI Environnement depuis sa création, le choix des plus représentatifs est évidemment difficile. Si la majorité des chantiers concernent la dépollution de bâtiments, d'ouvrages ou de structures de tous types, certains revêtent un caractère particulier du fait du contexte dans lequel ils ont été réalisés.



18



19



20



21



22



23

**24- Chantier de désamiantage des structures intérieures d'un bâtiment.**

Voici quelques-uns de ceux que Hugo Rosati a choisi de mettre en évidence.

**Le démantèlement de trois sous-marins Diesel (SMD)** de la Marine Française de classe Agosta dans le port de Brest est l'un des plus significatifs. Le chantier de désamiantage comprend plusieurs opérations successives : décapage de la coque extérieure, découpage de la coque intérieure et transfert des éléments dans une salle blanche avant décapage. Chaque sous-marin a ainsi été entièrement démonté et l'ensemble des pièces ont été traitées dans un local isolé.

**La gare Saint-Michel du RER C** a été entièrement désamiantée, déplombée et remise en conformité coupe-feu en trois campagnes successives de trois semaines en 3/8 - 2018, 2019, 2020 - par une centaine de compagnons intervenant à l'aide de trains-travaux équipés par l'entreprise de toutes les installations de traitement. Ces trains ont permis de réaliser ce chantier dans un temps record avec une interruption minimale du trafic. « *C'est un peu un chantier de l'extrême,* » précise à ce sujet Hugo Rosati.

**Le pont transbordeur du Martrou à Rochefort (classé au patrimoine mondial de l'Unesco)**, en Charente-Maritime a constitué, en 2017/2019, un important chantier de décapage de peinture amiantée et de remise en peinture avec des confinements développés par l'entreprise enveloppant la totalité des pylônes métalliques sur 100 mètres de hauteur.

**La poste du Louvre**, dans le 1<sup>er</sup> arrondissement de Paris, a fait l'objet du retrait de tous les revêtements à base d'amiante et de plomb recouvrant la structure : 60 zones désamiantées et 25 zones déplombées. Un chantier de désamiantage et déplombage de 12 mois.

**Au Kirghizistan**, DI Environnement a réalisé la dépollution et le désamiantage des locaux et équipements du barrage de Toktogul pour le compte de General Electric : dépollution en milieu occupé, réseaux électriques sous-tension, 4 phases de travaux de 7 mois. D'autres exemples peuvent être évoqués : remise en peinture anticorrosion sur le barrage de Seyssel, en Haute-Savoie, pour la CNR, 80 000 m<sup>2</sup> de retrait d'amiante pour le centre



24  
© DIE

## DI ENVIRONNEMENT : DES DATES À RETENIR

- 1987 : création de Dauphiné Isolation à Montélimar (Drôme).**
- 1996 : désamiantage de la maison d'arrêt de Fleury-Mérogis (Essonne).**
- 1998 : Dauphiné Isolation se scinde en DI Environnement et DI Projection.**
- 2000 : désamiantage du campus de la faculté de Jussieu (Paris).**
- 2001 : désamiantage de navires pour la Marine Nationale (Tahiti).**
- 2003 : désamiantage du Centre Georges Pompidou (Paris).**
- 2004 : décapage et désamiantage du sous-marin nucléaire Le Terrible (Brest).**
- 2012 : désamiantage de la Banque Africaine de Développement à Abidjan (Côte d'Ivoire).**
- 2013 : développement de l'offre désamiantage et photovoltaïque.**
- 2015 : certification Qualianior pour l'intervention en milieux ionisants.**
- 2016 : désamiantage et dépollution de la raffinerie Total à Feyzin (Rhône).**
- 2017 : décapage du pont transbordeur du Martrou à Rochefort (Charente-Maritime).**
- 2018 : désamiantage de navires marchands internationaux, désamiantage, démantèlement et dépollution des sols de la raffinerie de Reichstett (Bas-Rhin).**
- 2019 : curage, désamiantage, déplombage et réhabilitation de la gare Saint-Michel du RER C (Paris).**
- 2020 : désamiantage et démantèlement complet de trois sous-marins de classe Agosta.**
- 2020 : création d'une usine robotisée de démantèlement à Chalindrey (Haute-Marne).**
- 2021 : désamiantage du barrage hydro-électrique de Toktogul (Kirghizistan).**
- 2022 : ouverture d'une deuxième usine robotisée de démantèlement à Saintes (Charente-Maritime).**
- 2022 : plus de 10 ans de dépollution du grand terriil de Chrome de Watrelos (Nord).**
- 2022 : acquisition de Arcadis.**
- 2023 : désamiantage de la tour INSEE (Institut National de la Statistique et des Études Économiques à Malakoff (Hauts-de-Seine).**

commercial Westfield (les 4 Temps) à Paris-La-Défense pour Espace Expansion Antenne de la Défense, extension de l'installation de stockage de déchets de NENTX à Hong Kong pour Suez R&V France, désamiantage, dépollution et démolition de l'ancienne raffinerie Petroplus de Reichstett en Alsace avec Eiffage et Wanty, désamiantage et réaménagement des quartiers des plateformes offshore YAQ et SEFP en milieu occupé pour Total Congo, désamiantage de la tour Aurore à Paris-La-Défense pour Bouygues Immobilier, désamiantage avant travaux d'un immeuble de bureaux de 8 étages sur 3 niveaux de sous-sol en plein centre-ville de Suresnes pour SCCV Naraya, désamiantage, curage et projection coupe-feu de l'ambassade de France et de la Chancellerie à Varsovie (Pologne) pour le Ministère des Affaires Étrangères, travaux de désamiantage des briques réfractaires de deux fours sur la mine d'uranium d'Areva au Kazakhstan... Le dernier "chantier de l'extrême" en date, actuellement en cours, se situe à Malakoff, dans les Hauts-de-Seine. À Malakoff, DI Environnement effectue actuellement le désamiantage intégral de la tour INSEE pour le compte du ministère de la Solidarité et de la Santé : trois bâtiments en forme de tripode de 14 étages et de 40 m de hauteur, 37 000 m<sup>2</sup> de planchers, 12 000 m<sup>2</sup> d'échafaudages. Le chantier qui est en cours a nécessité la découpe des vitrages pour ancrer l'échafaudage à l'intérieur des bâtiments : il était impossible de l'arrimer à la façade qui est amiantée. Pour donner quelques chiffres : 60 opérateurs, 30 sas de décontamination, 70 extracteurs, 1 200 tonnes de déchets recueillis dans 3 500 Big-Bags. « *En France,* précise à ce sujet Hugo Rosati, *la quasi-totalité des déchets amiantés est enfouie dans des installations de stockage. L'un de nos projets est de développer avec des partenaires une filière qui permettrait d'éliminer l'amiante pour générer un nouveau matériau recyclable non dangereux.* » Dans la stratégie du groupe de s'affirmer plus encore en France comme "l'acteur global" de la dépollution, la découverte d'un procédé d'élimination de l'amiante et de son recyclage est en phase de développement avec la collaboration de plusieurs industriels. □

1- **ATEX** : deux directives européennes constituent la réglementation ATEX. Elles définissent les normes minimales pour l'employeur et le fabricant concernant les atmosphères explosives.  
2- **l'ACQPA** est un organisme certificateur au service de la maîtrise de la qualité des travaux de protection par peinture anticorrosion.





1  
© VINCI AUTOROUTES

# PONTS INTÉGRAUX DESTINÉS À LA GRANDE FAUNE SUR A10, A11 ET A71

AUTEURS : CHRISTINE LEFEVRE, RESPONSABLE D'OPÉRATION, VINCI AUTOROUTES - VIVIMEN SOTTEJEAU, CHEF DE PROJET ÉCOLOGIE, INGEROP - HADY DIALLO, CHEF DE PROJET, INGEROP - FABRICE DAURON, PROJETEUR, INGEROP

**SUR LE RÉSEAU COFIROUTE, TROIS NOUVEAUX ÉCOPONTS PERMETTENT LE FRANCHISSEMENT DES VOIES AUTOROUTIÈRES PAR LA GRANDE FAUNE ET AINSI DE SUPPRIMER DES POINTS DE CONFLIT OU DE RUPTURES POTENTIELLES POINTÉS DANS LES SCHÉMAS RÉGIONAUX DE COHÉRENCE ÉCOLOGIQUE (SRCE).**

## CONTEXTE GÉNÉRAL

Le Plan d'investissement autoroutier, signé avec l'État le 28 août 2018, prévoyait la création de trois écoponts sur le réseau Cofiroute, sur l'A10 sur la commune de Vellèches (86), sur l'A11 sur la commune d'Authon-du-Perche (28) et sur l'A71 sur la commune de Vierzon (18), ce qui représente un investissement de 13,5 M€ HT (valeur 01/16) pris en charge intégralement par Vinci Autoroutes.

Ces aménagements représentent des actions concrètes entreprises par Vinci Autoroutes pour protéger les milieux naturels en phase avec les engage-

ments d'ambition Environnement 2030. Ils permettent le franchissement des autoroutes par la faune locale (figure 1) dans des zones où les continuités écologiques sont inexistantes ou insuffisantes et repérées comme des points de conflit ou de ruptures potentielles dans les Schémas Régionaux de Cohérence Écologique (SRCE).

Ces projets se sont inscrits dans le cadre des politiques nationales en faveur de la biodiversité, en particulier la Stratégie nationale pour la biodiversité (SNB) 2011-2020, en permettant de rétablir la continuité écologique au-dessus des autoroutes pour la moyenne

**1 - Vue d'ensemble de la structure (A11).**

**1 - Overall view of the structure (A11).**

et la grande faune. Ils répondent à des besoins identifiés au niveau local, en se basant sur l'expertise de spécialistes et d'associations ainsi que sur des remontées d'informations par les collectivités ou préfetures. Les nouveaux écoponts construits par Vinci Autoroutes font partie d'une

nouvelle génération d'ouvrages pour la faune. Plus larges, ils sont le fruit de l'évolution des techniques et des connaissances en matière de génie écologique. En permettant ainsi le franchissement de l'autoroute, ces ouvrages facilitent la circulation de la faune et les échanges biologiques nécessaires à l'accomplissement des cycles de vie des espèces animales. Les emplacements respectifs de ces écoponts ont été validés par les DREAL Centre-Val de Loire, pour ceux de Vierzon et d'Authon-du-Perche, et Nouvelle Aquitaine, pour celui de Vellèches.

## DÉMARCHE DE DÉPLOIEMENT DES AMÉNAGEMENTS ÉCOLOGIQUES

### CHOIX DES SITES

Le choix des sites d'implantation repose sur l'analyse des documents cadres suivants :

- Les Schémas Régionaux de Cohérence Écologique (SRCE) notamment, qui identifient les éléments de fragmentation majeurs ;
- La Trame Verte et Bleue, codifiée dans le code de l'urbanisme et dans le code de l'environnement, qui porte l'ambition d'inscrire la préservation de la biodiversité dans les décisions d'aménagement du territoire ;

→ Puis des analyses multicritères plus fines destinées à définir l'emplacement optimal d'un passage grande faune (diagnostics écologiques) guidant le choix d'implantation du futur ouvrage.

### 2- Aménagements écologiques de l'écopont sur A11. 2a : vue en plan. 2b : coupe longitudinale.

### 2- Ecological improvement works on the eco-bridge over the A11. 2a: plan view. 2b: longitudinal section.

## BIODIVERSITÉ ET ÉCOPONT EN PASSAGE SUPÉRIEUR

La mise en place d'un écopont profite aux espèces faunistiques à enjeux de préservation identifiées dans le diagnostic territorial pour le dimensionnement des corridors et réservoirs de biodiversité mais aussi aux autres espèces appartenant aux mêmes guildes (mésafaune, chiroptères, reptiles, amphibiens, avifaune et entomofaune).

## CONCEPTION - GÉNIE ÉCOLOGIQUE Végétalisation

Les aménagements écologiques sont réalisés en cohérence avec les milieux naturels identifiés aux abords pour

assurer la transparence écologique du projet et rendre le milieu attractif pour les déplacements de la faune (figures 2).

La mise en œuvre des aménagements écologiques s'est appuyée sur l'utilisation de matériaux locaux (création d'andains, blocs de pierre, hibernaculum, terre végétale, etc.).

Les profils terrassés ont été étudiés pour créer une transition cohérente avec le paysage local entre le milieu naturel et le passage supérieur, mais également pour favoriser un passage plus aisé pour la faune d'une part et la création des mares d'autre part.

Le tablier est recouvert d'une épaisseur de terre végétale variable de 15 à 80 cm, prélevée et stockée dans l'emprise chantier, ou provenant de carrières locales pour accueillir une palette végétale adaptée aux conditions édaphiques locales.

La végétalisation de la surface de l'écopont est caractérisée par :

- Un milieu ouvert enherbé, ensencé à partir d'une sélection d'espèces pour partie d'origine locale ;
  - L'implantation de haies de guidage le long des écrans occultants facilitant le passage de la faune, provenant de pépinières spécialisées dans la production d'espèces indigènes.
- La plantation d'espèces indigènes présente un potentiel adaptatif plus élevé, permettant aux espèces de s'adapter plus facilement aux conditions météorologiques locales, face aux changements globaux, et minimisant les opérations d'entretien.

### Création de mares

Les mares (figure 3) constituent un vif intérêt en raison de leur richesse biologique et de la multitude des fonctions biophysiques et sociales qu'elles remplissent.

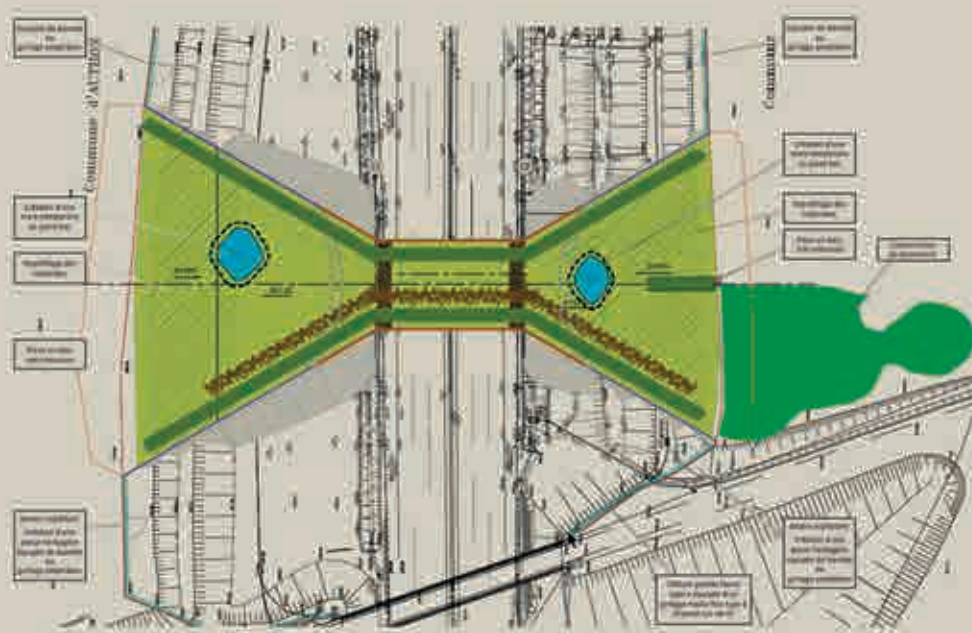
La conception des mares tient compte de prescriptions spécifiques pour la fréquentation des amphibiens avec des zones de surprofondeur, des pentes douces sur l'ensemble des profils en travers, une étanchéification à l'argile sur une épaisseur minimum de 30 cm garantissant une période en eau suffisante pour assurer le développement larvaire, un impluvium garantissant les apports en eaux météoriques et de ruissellement.

### Création d'andains et hibernaculum

L'andain offre des situations contrastées en termes de température et d'humidité (figure 1), propices à un éventail de reptiles, amphibiens, mustélidés, micromammifères.

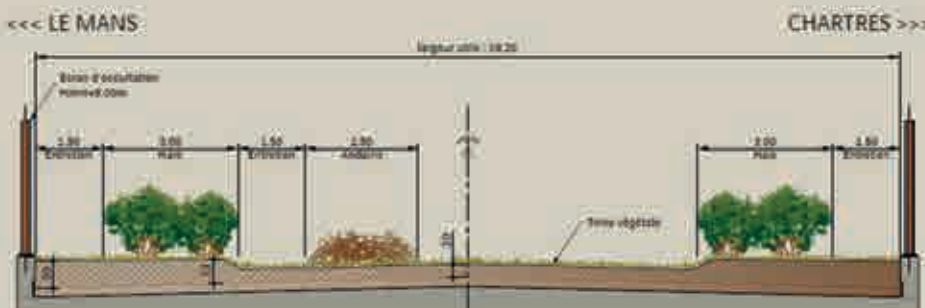
## AMÉNAGEMENTS ÉCOLOGIQUES DE L'ÉCOPONT SUR A11

### Vue en plan



© INGEROP C&I  
2a

### Coupe longitudinale



© INGEROP C&I  
2b



3

© VINCI AUTOROUTES

**3- Vue sur une mare de l'écopont (A11).**

**4- Vue d'ensemble (A10) avant aménagements écologiques.**

**5- Réalisation des culées (A11).**

**3- View over an eco-bridge pond (A11).**

**4- General view (A10) before ecological improvement works.**

**5- Execution of abutments (A11).**



4

© VINCI AUTOROUTES

Cet andain servira de micro-habitat et/ou d'espace relais pour les différentes espèces en transit.

L'andain se compose d'un alignement continu de roches (Ø 60-80 cm) avec des souches et rondins de bois (Ø 10 cm minimum) agrémenté de terre végétale.

Les matériaux ont été prélevés sur place notamment lors des opérations de libération des emprises (bois) ou de filières et carrières locales.

#### PLAN DE GESTION DE L'ÉCOPONT APRÈS TRAVAUX

À l'issue des travaux, un plan de gestion de l'ouvrage est élaboré. Ce plan prévoit une surveillance et une gestion ponctuelle de la végétation et des aménagements écologiques en fonction de la dynamique de végétation qui s'exprimera et des objectifs faunistiques afin de suivre l'appropriation du nouvel ouvrage par la faune.



5

© VINCI AUTOROUTES

## CONCEPTION - PONT INTÉGRAL

### CHOIX ET CONTEXTE

Les études de faisabilité réalisées en amont mettent en avant la solution d'un pont mixte à une travée, constitué de poutres mixtes préfabriquées (profilé métallique avec une semelle supérieure en béton armé) et encastrées dans les culées (figure 4). Cette solution dite "Intégrale" à une travée présente les avantages suivants :

→ L'absence d'appareils d'appui et de joints de chaussée diminue fortement les frais de maintenance en phase exploitation, par conséquent les coûts directs (temps

**6- Vue aérienne de la pose des poutres du tablier (A71).**

**7- Pose de nuit des poutres du tablier (A71).**

**6- Aerial view of the installation of deck beams (A71).**

**7- Placing deck beams at night (A71).**

de maintenance et achat des éléments mécaniques) et indirects (temps perdu par les usagers de l'infrastructure routière dans les ralentissements dus aux travaux de maintenance) sont fortement réduits ;

→ L'absence de pile centrale évite les travaux en TPC facilitant le maintien en exploitation de l'autoroute pendant les travaux ;

→ Le coût de cette solution mixte s'avère inférieur à une solution multi-travée en poutre PRAD classiques pour les sites concernés ;

→ L'absence de pile centrale offre une meilleure insertion paysagère ;

→ L'ouvrage ainsi conçu présente une meilleure robustesse structurelle.

Ainsi que ces inconvénients :

→ Ce type de conception très répandue aux USA, Canada et Royaume-Uni reste encore très marginal en France et dans le reste de l'Europe ;

→ Le calcul du nœud d'encastrement entre poutres et culée ainsi que sa réalisation sont complexes (densité d'armatures très élevée) ;

→ La vulnérabilité de la structure mixte au risque incendie est élevée (l'encastrement du tablier à ses appuis confère à l'ouvrage une robustesse suffisante lui permettant de mieux résister aux effets d'un incendie localisé) ;

→ La pose des poutres à la grue nécessite l'interruption complète de la circulation lors d'une opération ponctuelle.

La validation de ce choix de conception a de plus été encouragée par le fait que cet ouvrage destiné au passage de la faune ne sera pas soumis à des efforts de fatigue liés à un trafic routier classique. À noter également que, pour le bon comportement de ce type d'ouvrage sur le long terme, l'interaction sol-structure a été prise en compte dans le dimensionnement statique des éléments des culées intégrales ainsi qu'une dalle de transition adéquate disposée dans le prolongement du tablier.

### CONCEPTION DES TROIS OUVRAGES

Les trois sites présentant le même profil en travers autoroutier de 2x3 voies de circulation (profil futur en ce qui concerne le site de l'A10), il a été possible d'homogénéiser complètement la conception des trois ouvrages. Les caractéristiques communes de ces ouvrages sont :

→ Une portée de 33,20 m ;

→ Un tablier de largeur 20 m ;

→ 8 poutres PRS de hauteur 1,12 m cintrées avec un rayon de 160 m en acier autopatinable type Diweten (18,5 t par poutre), équipées de prédalles en béton armé fabriquées sur un site de préfabrication ;

→ Une dalle de transition de longueur 6 m et d'une épaisseur de 0,30 m, sur toute la largeur du tablier ;

→ 1 500 m<sup>3</sup> de béton hors fondations profondes ;

→ Des culées type mur de front de largeur 1,50 m fondées sur semelles et pieux (les dimensions de semelle et pieux varient d'un ouvrage à l'autre selon les conditions géotechniques rencontrées) ;



6



7

→ 4 murs en aile fondés sur semelle superficielle et présentant en plan une ouverture de 30°. Leurs dimensions d'un ouvrage à l'autre varient selon le terrain naturel à raccorder.

## RÉALISATION

### CONTRAINTES DE PLANNING

Le planning de réalisation était contraint par le maintien en exploitation de l'autoroute. Seules trois nuits d'interruption complète par site étaient prévues pour assurer le grutage des poutres. Le planning devait également intégrer l'impossibilité de travailler sous balliage durant les congés d'été. Enfin les travaux de génie civil et de terrassement devaient être terminés à temps pour que l'ensemencement et les plantations de haies se fassent dans des conditions optimales.

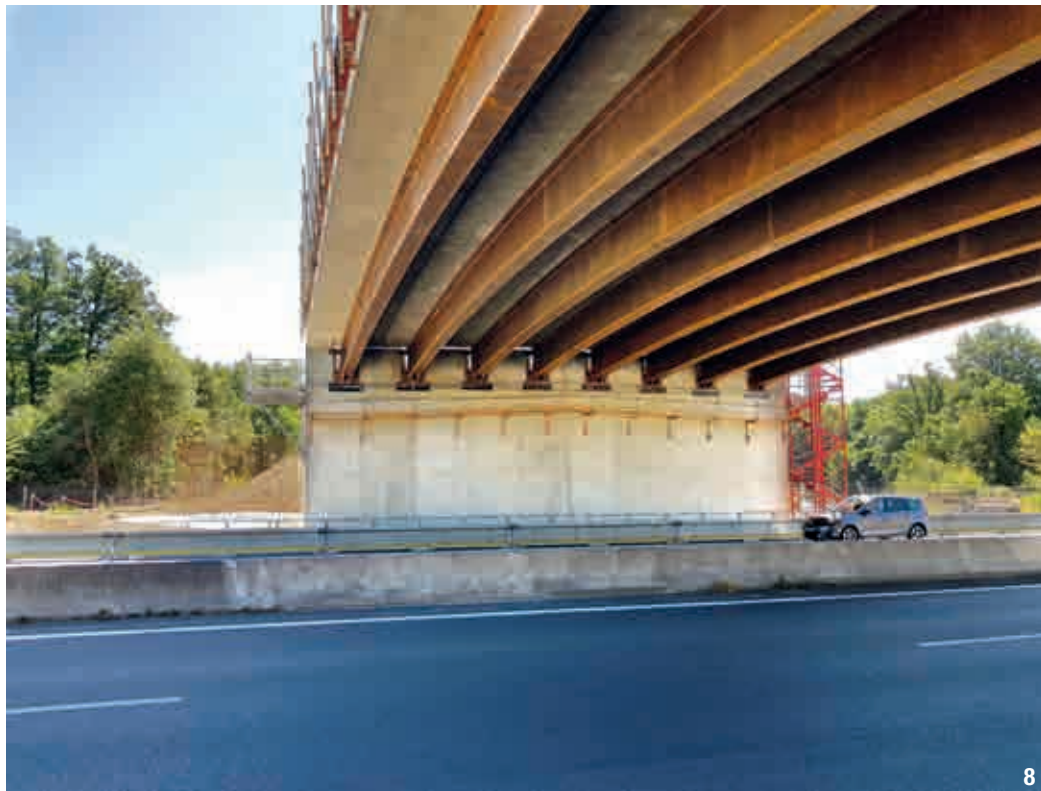
### PRÉFABRICATION DES POUTRES MIXTES ET APPUIS PROVISOIRES

La majeure partie des travaux a pu être réalisée en maintenant une circulation à 2x2 voies, chaque site ayant été rendu accessible par l'extérieur de l'autoroute. En parallèle des travaux de terrassement initiaux a eu lieu, sur un site d'Eurovia à proximité de Bourges, la réalisation de l'ensemble des poutres préfabriquées des trois ouvrages. Les 24 poutres métalliques assemblées par Baudin Chateaufort y sont livrées et disposées sur appuis provisoires dans une configuration identique à leur position finale sur site. Un platelage épousant le cintrage des poutres permet la réalisation des prédalles en béton armé. Ces prédalles de 12 cm d'épaisseur sont continues sur l'ensemble des poutres et sont liées à celles-ci grâce aux connecteurs présents sur les semelles supérieures. Ces assemblages relativement fragiles par leur souplesse font l'objet d'une attention toute particulière lors des opérations de levage et de transport.

Sur chantier, les culées mur de front sont bétonnées jusqu'au niveau d'appui des futures poutres (figure 5). Des bossages en béton avec contre-platine inférieure métallique noyée en tête y sont réalisés afin d'accueillir les platines supérieures des futures poutres, en phase provisoire.

### POSE DES POUTRES SUR APPUIS - CONTRAINTES DE BÉTONNAGE

Les poutres préfabriquées d'une longueur totale de 33,50 m et d'un poids de 40 t sont acheminées sur chantier par convoi exceptionnel. À la coupure



8

© INGEROP C&I

de l'autoroute, pour une durée de 9 heures, une grue de 250 t est mise en station. Pour chaque ouvrage, il est prévu la pose de 4 poutres par nuit de coupure (figures 6 et 7), une troisième nuit de secours étant possible en cas d'intempérie ou de problème technique rencontré.

Le grutage des poutres est d'autant plus délicat que l'entreprise a déjà mis en place les murs préfabriqués côté autoroute qui serviront de coffrage perdu lors du bétonnage du nœud

**8- Disposition des poutres en phase provisoire.**

**9- Ferrailage d'un nœud d'encastrement.**

**8- Layout of beams in the interim phase.**

**9- Rebars of an end restraint panel joint.**

d'encastrement. Les poutres sont contreventées et stabilisées via des plats métalliques, boulonnés tous les 4 m, reliant les poutres entre elles et rigidifiant l'ensemble.

Les poutres étant posées (figure 8), des joints caoutchouc sont disposés entre chacune d'elles et la réalisation d'un test d'étanchéité permet de s'assurer que le bétonnage du hourdis sera possible sans interruption de circulation. La partie la plus délicate de cette phase s'avère être le ferrailage du



9

© INGEROP C&I



© VINCI AUTOROUTES

10

**10- Mise en place des panneaux occultants (A10).**

**10- Placing screening panels in position (A10).**

nœud d'encastrement. Les sollicitations importantes de cette zone induisent la mise en œuvre d'une quantité importante d'armatures (figure 9) dans des espaces contraints par la présence des poutres et des coffrages perdus. Le bétonnage du hourdis et des nœuds d'encastrement se fait au cours d'une même phase en commençant par le centre afin que les rotations et déformations sous le poids du béton frais soient effectives au moment du coulage de l'encastrement.

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**CHARPENTE MÉTALLIQUE (S460) : 450 t**  
**BÉTON : 5 000 m<sup>3</sup>**  
**ÉCRANS OCCULTANTS : 1 000 m<sup>2</sup>**  
**DURÉE : 21 mois (octobre 2021 à juillet 2023)**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRISE D'OUVRAGE : Vinci Autoroutes**  
**MAÎTRISE D'ŒUVRE : Ingerop Conseil & Ingénierie**

### GROUPEMENT D'ENTREPRISES

**A10/A11 : Ebgc anciennement Eurovia Béton (mandataire - génie civil) - Baudin Chateaufort (charpente métallique) - Terelian anciennement Vinci Construction Terrassement (terrassement) - Signature (signalisation et équipements)**

**A71 : Ebgc anciennement Eurovia Béton (mandataire - génie civil) - Baudin Chateaufort (charpente métallique) - Eurovia Centre Loire (terrassement) - Signature (signalisation et équipements)**

Une fois le hourdis et les murs en aile réalisés, les opérations de remblai débutent. Entre 9 000 et 14 000 m<sup>3</sup> de remblais sont mis en œuvre selon les sites (dont 4 000 m<sup>3</sup> de remblais techniques) pour assurer le raccordement de l'ouvrage au terrain naturel. L'éco-pont sur l'A71 présente la particularité d'être implanté à la place d'un ancien pont démolé il y a quelques années et dont les rampes d'accès, qui ont été conservées, ont permis de limiter la quantité de remblai à mettre en œuvre. Des écrans occultants en bois d'une hauteur de 3 m (figure 10) sont disposés en rive d'ouvrage et sur les murs en retour. Ces écrans ont pour but d'isoler le passage faune des éclairages des automobiles. Ils sont prolongés hors ouvrage et raccordés aux clôtures autoroutières. Ces travaux achevés, l'aménagement écologique des ouvrages peut commencer. □

## ABSTRACT

### INTEGRAL BRIDGES DESIGNED FOR LARGE WILDLIFE ON THE A10, A11 AND A71 MOTORWAYS

CHRISTINE LEFEVRE, VINCI AUTOROUTES - VIVIEN SOTTEJEAU, INGEROP - HADY DIALLO, INGEROP - FABRICE DAURON, INGEROP

**The Motorway Investment Plan** included the creation of three eco-bridges over the Cofiroute motorways, with a capital investment of €13.5m (excluding VAT), designed to protect the local wildlife in accordance with biodiversity policies. The design takes into account ecological strategies such as revegetation with local materials and ponds, and includes a management plan to ensure their continued existence. The structures, designed as integral composite steel-concrete bridges with welded plate girders of grade 460 exceeding a 33-metre span, reduce maintenance costs by eliminating bearings and bridge expansion joints, thus providing an economical solution and a robust structure. □

### PUNTES INTEGRALES PARA LA GRAN FAUNA SOBRE LA A10, LA A11 Y LA A71

CHRISTINE LEFEVRE, VINCI AUTOROUTES - VIVIEN SOTTEJEAU, INGEROP - HADY DIALLO, INGEROP - FABRICE DAURON, INGEROP

**El Plan de inversión en autopistas** incluía la creación de tres ecopuentes sobre las autopistas de Cofiroute, valorados en un total de 13,5 M€ (IVA n/i), con objeto de proteger la fauna local, de conformidad con las políticas de biodiversidad. El diseño integra estrategias ecológicas como la vegetalización con materiales locales y charcas, con un plan de gestión para garantizar su perennidad. Las construcciones, diseñadas como puentes integrales mixtos acero-hormigón, con vigas soldadas reconstituidas de acero tipo 460 y más de 33 m de luz, reducen los costes de mantenimiento ya que eliminan los dispositivos de apoyo y las juntas de calzada, ofreciendo así una solución económica y una estructura robusta. □



© PHOTOTHÈQUE EIFFAGE / SÉBASTIEN NOVAK 1

# UNE GESTION ENVIRONNEMENTALE INTÉGRÉE SUR LE CHANTIER E18 EN NORVÈGE

AUTEURS : CYRILLE BEAUX, RÉFÉRENT TRANSITION ÉCOLOGIQUE, EIFFAGE INFRASTRUCTURES - ELISABETH PATTARD, CHEF DE PROJET BAS CARBONE, EIFFAGE INFRASTRUCTURES

LE PROJET AUTOROUTIER E18 EN NORVÈGE S'INSCRIT DANS LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE ET ÉCOLOGIQUE AVEC DES ENGAGEMENTS FORTS. IL EST STRUCTURÉ AUTOUR DE LA CERTIFICATION BREEAM, ENCOURAGEANT L'ENSEMBLE DES PARTIES PRENANTES À COLLABORER AFIN D'INTÉGRER LES PRINCIPES DU DÉVELOPPEMENT DURABLE À TOUTS LES NIVEAUX ET À TOUTES LES PHASES DU PROJET. LE PROJET BÉNÉFICIE ÉGALEMENT DU CONTEXTE NORVÉGIEN, AVEC UNE VOLONTÉ FORTE DU PAYS À SOUTENIR LES EFFORTS DE RÉDUCTION DES IMPACTS, NOTAMMENT PAR DES AIDES FINANCIÈRES ACCORDÉES À LA RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE FOSSILE.

En décembre 2020, Eiffage Génie Civil a été adjudicataire du marché de mise à 2x2 voies de l'autoroute E18 reliant Langangen à Rugtvedt (figure 2), dans le comté du Télémark, en Norvège. Le contrat de conception-construction et maintenance sur une durée de 20 ans concerne un tronçon d'environ 18 km, comportant des tunnels, des viaducs, dont l'emblématique pont haubané de Grenland (figure 3), et des sections à ciel ouvert. Dès le début de l'appel d'offre, des discussions ont porté sur les possibilités

d'améliorer l'intégration du projet dans son environnement physique, naturel et humain. Le client, Nye Veier, société anonyme d'État sous la tutelle du ministère des transports norvégien, a imposé que le projet soit certifié BREEAM Infrastructure. Eiffage Génie Civil a saisi cette opportunité pour rehausser l'ambition environnementale en visant un "Excellent Award BREEAM". BREEAM Infrastructure (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) est un système d'évaluation de la durabilité et de la

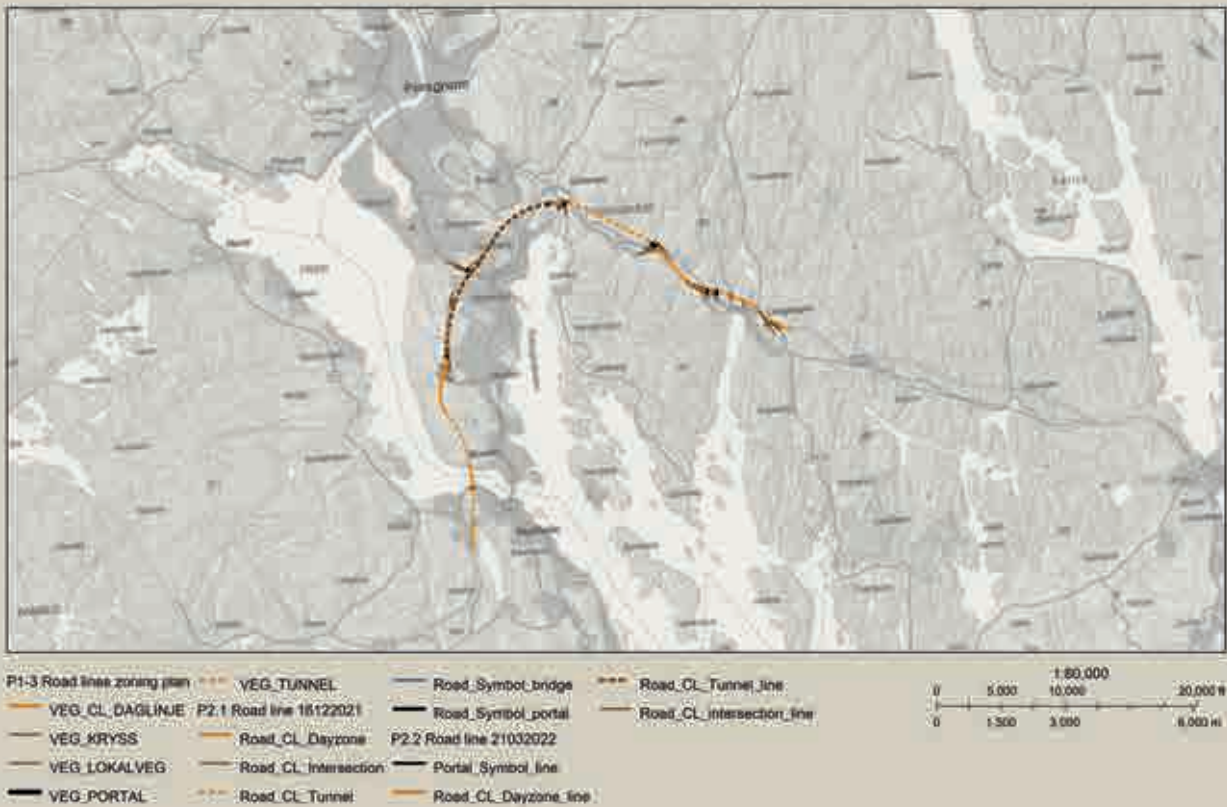
**1- Viaducs de Langangen (1 viaduc existant, 2 viaducs en cours de construction).**

**1- Langangen viaducts (1 existing viaduct, 2 viaducts under construction).**

performance environnementale des projets d'infrastructures et de génie civil, qui a été développé au Royaume-Uni par le BRE (Building Research Establishment). Le référentiel est composé de critères regroupés en 8 domaines, qui sont les suivants :

- Le management de l'environnement et l'intégration à tous les niveaux des principes du développement durable ;
- L'impact sur le climat et la résilience du projet à s'adapter aux climats futurs ;

## TRACÉ DU PROJET AUTOROUTIER E18 EN NORVÈGE (LANGANGEN-RUGTVEDT)



2

- L'intégration du projet au niveau local par la participation du public dans les choix de conception, de réalisation, pour une meilleure utilisation future ;
- La préservation des habitats, des espèces, et la lutte contre les espèces invasives ;
- Le paysage et la préservation des sites culturels et des vestiges archéologiques ;

- La gestion des terres polluées et des pollutions accidentelles ;
  - L'utilisation et la préservation de toutes les ressources, l'économie circulaire ;
  - Le transport, pendant les phases travaux et exploitation.
- Le client, Nye Veier, a également présenté des objectifs de performance, dont voici les principaux :

- La réduction des nuisances pour les riverains pendant les phases de construction ;
- Aucun dommage environnemental sur la qualité de l'eau, la faune et la flore ;
- Une réduction des émissions de gaz à effet de serre de 30% en phase chantier par rapport à un scénario de référence ;

- Un projet innovant limitant ses impacts environnementaux tant en phase de réalisation qu'en phase d'exploitation ;
- Une maîtrise des coûts d'exploitation et de maintenance.

### UNE ORGANISATION FAÇONNÉE POUR INTÉGRER LE PROJET DANS SON ENVIRONNEMENT

L'une des particularités intéressantes de la méthodologie BREEAM est la possibilité d'associer le client, les ingénieries et les entreprises de construction, y compris les sous-traitants et les fournisseurs, à des réflexions communes sur la conception et la réalisation de projets d'infrastructures. Le choix de créer une équipe composée de 3 "BREEAM Assessors", représentant chacune des entités, client, ingénieries et constructeurs, a été fait dès la signature du contrat et a permis d'étudier conjointement les 248 critères que composent le référentiel. L'objectif fixé vise une conformité supérieure à 75% aux exigences. Chacun des domaines concernés par le BREEAM a bénéficié d'une attention particulière afin de définir une stratégie d'identification et d'évitement, de réduction et, dans certains cas, de compensation des impacts. ▷

### 2- Tracé du projet autoroutier E18 en Norvège (Langangen-Rugtvedt).

3- À gauche, viaduc de Grenland en cours de construction ; à droite, viaduc de Grenland existant.

### 2- Alignment of the E18 motorway project in Norway (Langangen-Rugtvedt).

3- On the left, Grenland viaduct under construction; on the right, existing Grenland viaduct.

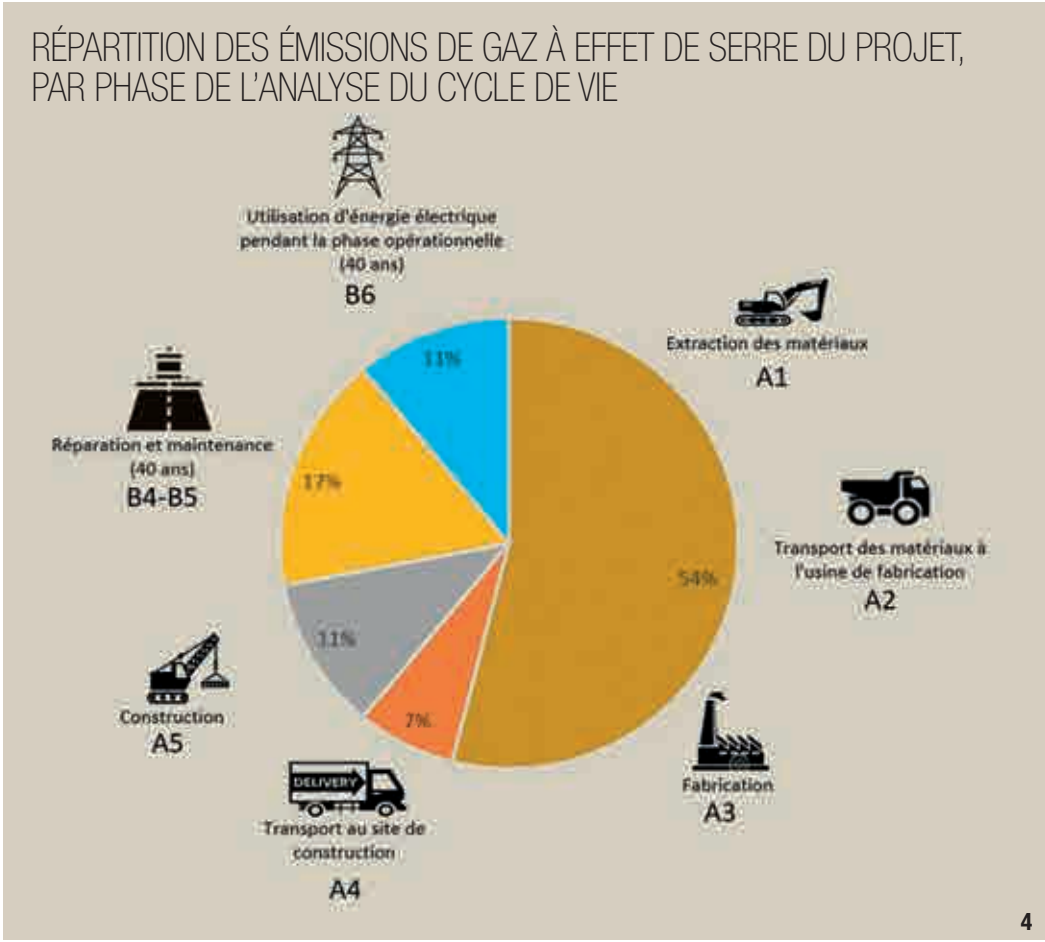


© PHOTO THÉQUE EIFFAGE



4- Répartition des émissions de gaz à effet de serre du projet, par phase de l'analyse du cycle de vie.  
 5- Exemple de matrice d'évaluation multicritère pour la comparaison des variantes.

4- Breakdown of the project's greenhouse gas emissions by life cycle analysis phase.  
 5- Example of multiple-criterion assessment matrix chart for comparison of variants.



Les impacts majeurs identifiés concernent :

- Le milieu naturel et humain et la consommation d'espace ;
- Les émissions de gaz à effet de serre et la consommation d'énergie ;
- La consommation de ressources naturelles ;
- Les impacts sur les riverains en phase travaux ;
- Les impacts environnementaux liés à la fabrication des matériaux utilisés sur le chantier ;

→ La gestion des excédents de matériaux issus du creusement des tunnels.

Un des principes fondamentaux du BREEAM est d'anticiper suffisamment les impacts environnementaux futurs. Il s'agit par exemple de réfléchir pendant

la phase de conception à la production de déchets, la consommation d'eau ou d'énergie, qui auront lieu pendant les phases travaux et exploitation du projet. La participation conjointe du client, des ingénieries, des entreprises de construction et de leurs sous-traitants,

des fournisseurs de matériaux ainsi que des entreprises qui assureront la maintenance, prend alors tout son sens : les expertises de chaque entité se joignent pour apporter des plus-values du point de vue de l'environnement et du cadre de vie.

### EXEMPLE DE MATRICE D'ÉVALUATION MULTICRITÈRE POUR LA COMPARAISON DES VARIANTES

Critères	Pondération	VARIANTES					
		Option 5.2.A	Option 5.2.B	Option 6.1.A	Option 6.1.B	Option 11.2.A	Option 11.2.B
Trafic : capacité	5%	3	4	3,5	4,5	3,5	4,5
Trafic : sécurité	5%	3	4	3,5	4,5	3,5	4,5
Trafic : adaptabilité aux dessertes locales	5%	2,5	2,5	2,5	3	3,5	3,5
Biodiversité	5%	2	3	1	2	4,5	5
Emission de GES	5%	3	3	4	3	4,5	4,5
Ressources naturelles	5%	2,5	3,5	1	2	5	5
Paysage et aspects culturels	5%	3,5	4	3,5	4	5	5
Bruit et zones publiques	5%	2,5	3	3	3,5	5	5
Risques techniques et complexité de la construction	5%	3,5	2,5	4	3,5	4	3,5
Santé et sécurité pendant la construction	5%	4,5	3,5	4,5	3,5	4,5	4,5
Planning de la construction	5%	3,5	3	4	3,5	4,5	4
Dérogations	5%	2	3,5	2,5	4	2,5	4
Innovations et coûts de maintenance	5%	2,5	3,5	3,5	4	4	4
Planning des processus	10%	2	3	1,5	2,5	4	5
Coût de la construction	25%	4,24	3,22	5	3,94	3,9	2,99
<b>Score total</b>	<b>100%</b>	<b>3,2</b>	<b>3,3</b>	<b>3,4</b>	<b>3,5</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>

6- Murs préfabriqués des tunnels.

7- Comparatif des émissions de gaz à effet de serre liés à la production de 3000 t d'émulsion explosive, pour 4 produits.

8- Comparatif des besoins en eau liés à la production de 3000 t d'émulsion explosive, pour 4 produits.

6- Precast tunnel walls.

7- Comparison of greenhouse gas emissions due to the production of 3,000 tonnes of explosive emulsion, for 4 products.

8- Comparison of water requirements for the production of 3,000 tonnes of explosive emulsion, for 4 products.



© PHOTO THÈQUE EIFFAGE

### UNE ANALYSE DU POTENTIEL DE RÉDUCTION DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE RÉALISÉE AU PLUS TÔT

Nye Veier a réalisé un budget carbone dès la phase DCE, fondé sur des ratios, indiquant un poids carbone par unité d'ouvrage (exemples : m<sup>2</sup> de tablier de

viaduc, m de tunnel, m<sup>3</sup> terrassé, etc.). Ce budget carbone a été affiné lorsque le DQE (Devis Quantitatif Estimatif) s'est révélé suffisamment mature et que la collection des facteurs d'émission par type de matériau utilisé, a été suffisamment complète. Une image plus précise des émissions de gaz à effet de serre

a ainsi été produite et des réflexions quant aux potentialités de réduction ont pu être menées.

La production des matériaux, principalement des aciers, des bétons et des enrobés, représente plus de la moitié des émissions de gaz à effet de serre du projet (figure 4). Leur transport vers le chantier ainsi que leur mise en œuvre représentent environ 20 %. Les émissions attendues pendant la phase d'exploitation sur une durée de 40 ans représentent environ 30 %.

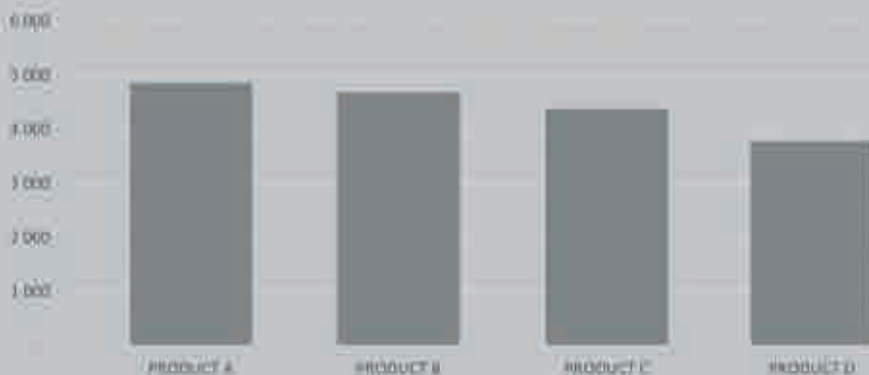
### LA CONCEPTION, UNE PHASE DÉTERMINANTE POUR LA RÉDUCTION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

Les objectifs de performance du client ainsi que les exigences du référentiel BREEAM ont guidé le projet dès la phase de conception. Ainsi, les équipes intégrées ont travaillé à son optimisation au moyen de matrices d'évaluation multicritères (figure 5). La première étape a porté sur l'optimisation du tracé. Les réflexions ont conduit à l'allongement d'un tunnel, à la suppression d'un ouvrage du projet initial, à la conservation d'un autre qui était destiné à être démolì, à la réduction en taille d'un troisième, ainsi qu'à la préservation de 14,4 ha de terres agricoles et à l'évitement d'une tourbière qui constitue un puits de carbone naturel important ainsi qu'un habitat écologique de haute valeur. Le projet modifié a été présenté aux collectivités locales, aux organismes représentant les futurs utilisateurs et riverains. La séquence "éviter-réduire" les impacts environnementaux a été un fil conducteur du personnel impliqué dans la conception. Dans un deuxième temps, les ingénieries ont travaillé sur la conception des ouvrages afin d'optimiser les quantités de matériaux à utiliser. Ainsi, une rangée de treillis soudés des murs préfabriqués des tunnels a été supprimée, réduisant le tonnage d'armatures de 33 % et diminuant l'épaisseur de béton de 15 cm à 12 cm, soit une diminution de 20 % du volume de béton correspondant (figure 6). Les bureaux d'études sont incités à rechercher des optimisations puis challengés par des points d'arrêt dans le processus de conception afin de s'assurer que toutes les optimisations envisagées sont ensuite étudiées.

### LEVIERS ACTIVÉS EN PHASE DE RÉALISATION

Ensuite, la recherche de fournisseurs en matériaux, si possible locaux, a été engagée.

### POTENTIEL DE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE (tCO<sub>2</sub>e) COMPARAISON DE 4 ÉMULSIONS EXPLOSIVES



© EIFFAGE

7

### BESOIN EN EAU (m<sup>3</sup>) COMPARAISON DE 4 ÉMULSIONS EXPLOSIVES



© EIFFAGE

8

Les fournisseurs ont été invités à présenter des Déclarations Environnementales de Produits (DEP), qui comportent les paramètres permettant d'évaluer les impacts environnementaux, en particulier l'intensité carbone. La comparaison de ces paramètres (figures 7 et 8) a permis de classer les matériaux en fonction de l'impact de leur fabrication et de leur transport ; l'information en résultant a fait partie des critères de choix au même titre que le coût, le délai et les modalités de livraison. De grandes variabilités ont été constatées. La comparaison de 4 émulsions explosives a, par exemple, montré une différence de 1 000 tCO<sub>2</sub>e (sur les quantités totales achetées) entre les produits ayant le facteur d'émission le plus élevé et le plus faible.

Concernant les mouvements de terre, ceux-ci ont prêté à réflexion en phase de conception afin de réduire les distances de transport. Les excédents de matériaux provenant de l'excavation des tunnels représentent environ 1 500 000 m<sup>3</sup>. Eiffage Génie Civil se fixe comme objectif d'atteindre un taux de 100% de valorisation matière. Une part importante du matériau est réemployée en remblai sur le chantier. Le volume excédentaire est réparti sur d'autres projets locaux ou vers des filières de création de granulats pour les revêtements routiers, ou encore de



9

© PHOTO THÉO EIFFAGE

béton lorsque le matériau est approprié. Le choix des méthodes de réalisation permet également de réduire les impacts. Par exemple, la surconsommation de béton projeté (figure 9) est contrôlée par l'utilisation d'un scan 3D des parois des tunnels et d'un robot projetant la quantité strictement nécessaire. La quantité d'accélérateur de prise ajoutée au béton projeté est également contrôlée et son dosage précis est paramétré au niveau du robot de projection.

**9- Béton projeté sur le tunnel E18.**  
**10- Scan 3D d'un des sites de construction.**

**9- Shotcreting on the E18 tunnel.**

**10- 3D scan of one of the construction sites.**

### UNE TRANSITION VERS UNE ALIMENTATION ÉLECTRIQUE DES SITES DE PRODUCTION

Le choix de l'énergie est aussi déterminant dans la recherche d'opportunités pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. La Norvège produisant de l'énergie électrique très faiblement carbonée, son utilisation est largement encouragée par le ministère des trans-



10

© EIFFAGE

ports norvégien qui propose des aides financières à la réduction de l'utilisation d'énergies fossiles. Eiffage Génie Civil s'est vu attribuer une aide équivalente à 2 millions d'euros en 2022 et 2023. Cette aide finance la différence de coût entre une solution technique fonctionnant aux énergies fossiles et une solution fonctionnant à l'énergie électrique. Afin d'électrifier les sites de construction, un raccordement au distributeur d'électricité local a été nécessaire.

Le raccordement des sites de construction au réseau électrique a été d'abord réalisé pour les viaducs de Langangen (figure 1) et de Grenland, puis sur les tunnels. Cela a permis de réduire le recours aux groupes électrogènes, d'ordinaire largement utilisés sur les sites isolés. Des batteries mobiles, rechargeables sur le réseau, sont positionnées aux endroits dépourvus de connexion.

À ce jour, presque 100% de la flotte de véhicules du personnel est électrique. Des bornes de recharge des véhicules ont été installées en divers endroits, des systèmes de chauffage avant soudure fonctionnant par induction électrique ont remplacé les chalumeaux à propane, les systèmes de déplacement des équipages mobiles, installés sur les tabliers des viaducs en construction, ont été électrifiés, le robot à béton projeté pour le revêtement des tunnels est 100% électrique, alimenté par un câble et une batterie embarquée de 500 kW. Du fait de l'électrification des équipements, les nuisances sonores et le risque de pollution accidentelle par les produits hydrocarbonés ont diminué.

### UN PROJET SYNCHRONISÉ EN BIM NIVEAU 3

Le projet a développé des outils informatiques innovants par la digitalisation de la conception, de la réalisation

et du contrôle du travail effectué. Une maquette unique 3D (figure 10) a été réalisée (Quadri) et reliée au planning général (Primavera P6).

Toute la documentation est digitalisée de même que le contrôle de la qualité et des quantités mises en œuvre (Novade). Il n'existe quasiment plus sur le projet de plans 2D, ni imprimés, ni électroniques.

Les compagnons travaillent directement depuis la maquette 3D.

Cette digitalisation a un intérêt certain dans la gestion des impacts environnementaux, par la sécurisation de la qualité des données. Elle est également très prometteuse car elle permet d'améliorer grandement la précision des mesures et de gérer une grande quantité de paramètres. Ainsi les calculs des émissions carbonées, ou d'autres indicateurs permettant de réaliser des analyses de cycle de vie du projet sont facilités.

La mise à jour des facteurs d'émission par les fournisseurs de matériaux, pendant le développement du projet, est également possible.

En effet, il a été constaté que les facteurs d'émission sont régulièrement mis à jour par les fournisseurs de matériaux qui cherchent également à réduire leurs impacts environnementaux.

Par exemple, sur une même pile du viaduc de Langangen, les facteurs d'émission ont été plusieurs fois modifiés, soit parce que les sources d'approvisionnement en granulats avaient changé, modifiant ainsi les distances d'approvisionnement, soit parce que le fabricant de ciment avait installé un système de captage du CO<sub>2</sub> dans ses cheminées (une première en Norvège).

### FORMATION ET ANTICIPATION

La mise en place de standards nouveaux et d'outils de digitalisation complexes est toujours une étape exaltante dans la recherche de techniques pour identifier et réduire les impacts environnementaux. Elle est également complexe, car les modifications représentent des défis additionnels relevés par l'intégration de personnel qualifié ainsi que par des formations à tous les niveaux décisionnels et opérationnels.

L'anticipation est de rigueur et la prise en compte de ces nouveautés doit donc s'appréhender au plus tôt afin de prévoir les ressources nécessaires à leur bonne gestion.

Quant au BREEAM, il s'agit d'un outil qui a pour objectif d'augmenter la performance environnementale d'un projet en associant les parties prenantes impliquées et en donnant des critères mesurables, appréciés des collaborateurs lorsqu'ils sont associés dans la démarche et qu'ils en ont connaissance suffisamment tôt. □

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**DURÉE : 55 mois (à compter du 18 décembre 2020)**

**LONGUEUR TOTALE : 17,7 km**

**TUNNEL DE BLAFJELL : bitube, 2 x 450 m**

**TUNNEL DE BJONNAS : bitube 2 x 2 562 m**

**TUNNEL DE GRENLAND : bitube 2 x 5 129 m**

**TUNNEL DE KJORHOLT : 3 020 m ( finition seulement)**

**TUNNEL DE BAMBLE : 750 m ( finition seulement)**

**EXCÉDENT DE MATÉRIAUX : 1 500 000 m<sup>3</sup>**

**VIADUC DE LANGANGEN 1 : 410 m**

**VIADUC DE LANGANGEN 2 : 255 m**

**VIADUC DE GRENLAND : 637 m**

**BUDGET : 5,8 bn NOK**

**NOMBRE DE PERSONNES TRAVAILLANT SUR LE PROJET :**

**500 avec plus de 25 nationalités différentes.**

**HEURES TRAVAILLÉES DÉDIÉES À L'APPRENTISSAGE : > 7 %**

**INTERRUPTION DE TRAFIC LOCAL : 0**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE : Nye Veier**

**ADJUDICATAIRE : Eiffage Génie Civil**

**INGÉNIERIES : Afry pour les terrassements et les tunnels,**

**Otera pour les équipements électromécaniques,**

**Eiffage Biep et Systra pour les ouvrages d'art**

**SOUS-TRAITANTS PRINCIPAUX :**

**Bertelsen & Garpestad, Metrostav**

## ABSTRACT

### INTEGRATED ENVIRONMENTAL MANAGEMENT ON THE E18 PROJECT IN NORWAY

CYRILLE BEAUX, EIFFAGE INFRASTRUCTURES -  
ELISABETH PATTARD, EIFFAGE INFRASTRUCTURES

**The E18 motorway project in Norway, for a two-lane dual-carriageway section 18 km long, is covered by a Design, Build and Maintenance contract over a 20-year period, employing a BREEAM approach. With this environmental certification baseline, the client, the engineering firm and the constructors are involved in incorporating sustainable development principles in the project. This takes the form, in particular, of design optimisation, the choice of the least impacting materials and construction methods, and research on outlets for the extracted materials. It also includes the electrification of construction sites, which was made possible by financial assistance from the Norwegian Ministry of Transport. □**

### GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL INTEGRADA EN EL PROYECTO E18, EN NORUEGA

CYRILLE BEAUX, EIFFAGE INFRASTRUCTURES -  
ELISABETH PATTARD, EIFFAGE INFRASTRUCTURES

**El proyecto de la autopista E18 en Noruega, un tramo de 2x2 carriles de 18 km de longitud, es un contrato de diseño-construcción y mantenimiento de 20 años de duración sujeto a certificación BREEAM. Este programa de certificación medioambiental asocia al cliente y a los responsables de ingeniería y construcción en la integración de los principios del desarrollo sostenible en el proyecto. Ello se ha traducido concretamente en la optimización del diseño, la selección de los materiales con menor impacto y los métodos de construcción, y la búsqueda de opciones de aprovechamiento de los materiales extraídos, así como en la electrificación de las zonas de construcción, que ha sido posible gracias a la ayuda financiera del Ministerio de Transporte noruego. □**



1  
© ARTOISDRONES

# AUTOROUTE A1 : ÉCOPONT D'ERMENONVILLE

AUTEURS : HAFSA DEVAUVRE-ZEROUKI, PAYSAGISTE CONCEPTEUR, ARVAL - LISA BOUDEHENT, CHEFFE DE PROJET ENVIRONNEMENT, ARCADIS - CLAIRE RAVETTI, CHEFFE DE PROJET OUVRAGE D'ART, ARCADIS - JEAN-CHARLES PHILIPPART, DIRECTEUR DE L'AGENCE DE ROUEN, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS RÉGIONS FRANCE - MAXIME MOITEL, RESPONSABLE TRAVAUX DE L'OPÉRATION, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS RÉGIONS FRANCE

**AFIN DE RECONSTITUER LE CORRIDOR ÉCOLOGIQUE ENTRE LES FORÊTS D'ERMENONVILLE ET DE CHANTILLY, UN ÉCOPONT FRANCHISSANT L'AUTOROUTE A1 A ÉTÉ INAUGURÉ LE 6 JUILLET 2023. CET OUVRAGE D'ART FAVORISE LE DÉPLACEMENT DE L'ENSEMBLE DES CORTÈGES FAUNISTIQUES, EN PARTICULIER POUR LES GRANDS MAMMIFÈRES TELS QUE LE CERF ÉLAPHE. LE SUIVI DE LA FRÉQUENTATION PERMETTRA DE CONFIRMER LA FONCTIONNALITÉ DE L'OUVRAGE ET DE QUANTIFIER LES DÉPLACEMENTS SELON LES GROUPES D'ESPÈCES.**

## CONTEXTE

L'autoroute A1 traversant la forêt domaniale d'Ermenonville au sud de Senlis, crée une coupure au sein du massif forestier pour les déplacements des animaux, notamment les cervidés.

Dès la construction de l'autoroute au début des années 60, les contraintes faunistiques ont été prises en compte puisqu'un passage inférieur dédié aux

animaux existe déjà. Cependant, sa conception présente plusieurs inconvénients qui limitent fortement le passage des animaux :

- Une absence de continuité des habitats écologiques sous l'ouvrage ;
- Un passage dans la pénombre car sous l'autoroute ;
- Des nuisances sonores causées par la circulation routière ;

→ Une pollution lumineuse nocturne créée par les véhicules sur l'autoroute ;

→ La présence d'activités anthropiques (cyclisme, équitation, quads, ...).

Malgré l'existence de cet ouvrage de grande largeur, la continuité écologique n'était donc pas assurée au droit de l'autoroute, puisque la faune locale n'empruntait pas l'ouvrage mis à sa

**1- Vue aérienne de l'écopont d'Ermenonville.**

**1- Aerial view of the Ermenonville eco-bridge.**



2

© ARVAL



3

© ARVAL

disposition, comme le confirmaient les compteurs mis en place.

Face à ce constat, un collectif de 25 organisations, parmi lesquelles l'Office National des Forêts (ONF), l'office national de la chasse et de la faune sauvage, la fédération départementale des chasseurs de l'Oise ou encore le Parc Naturel Régional (PNR) Oise-Pays-de-France, s'est mobilisé pour réclamer une meilleure transparence à la faune de l'autoroute A1 dans la traversée du massif forestier d'Ermenonville.

C'est dans ce contexte que Sanef a proposé à l'État de réaliser un écopont d'une largeur de 30 m, adapté à l'enjeu régional de la connectivité écologique à rétablir (figure 1).

**2- Bruyères cendrées sur le site.**

**3- Blocs de grès existants.**

**4- Insertion de l'ouvrage par ouverture progressive du paysage.**

**2- Bell heather on site.**

**3- Existing sandstone blocks.**

**4- Integration of the structure by gradual opening of the landscape.**

## MANAGEMENT DE L'ENVIRONNEMENT

Dès la phase de conception et jusqu'à l'achèvement des travaux un système de management de l'environnement a été mis en place afin de répondre aux objectifs et aux engagements du maître d'ouvrage en la matière. Les questions environnementales font partie intégrante des choix de conception et des actions mises en œuvre tout au long du processus de réalisation.

## CONCEPTION

La conception s'est nourrie à la fois d'une approche sensible et d'une compréhension fine du territoire concerné par l'implantation de l'écopont, permettant à la faune et la flore de retrouver

des continuités naturelles en franchissant l'autoroute A1.

Le choix d'un passage supérieur avec écrans latéraux se justifie notamment pour des raisons écologiques : il favorise un ensoleillement suffisant pour le développement de végétaux et limite le bruit et la pollution lumineuse liés au trafic autoroutier et pouvant perturber la faune.

La finalité de l'analyse environnementale préalable a été de dégager les niveaux de sensibilité des secteurs concernés de manière à déterminer le secteur d'implantation de l'ouvrage le plus favorable aux aspects écologiques, techniques, environnementaux, paysagers, architecturaux et financiers du projet. ▷



4

© ARVAL

Le territoire étudié concernait plusieurs communes. Il se trouve compris dans le PNR Oise-Pays-de-France et à l'articulation des entités paysagères du massif de Chantilly et du massif d'Ermenonville, sites patrimoniaux d'une grande richesse. Les paysages forestiers dans ce massif sont caractérisés par des espaces de landes favorisés par la présence du sable venu recouvrir le socle calcaire. Le site étudié présente des formations caractéristiques comme les pins sylvestres avec un taillis de bouleaux et sorbiers et des landes à bruyères (figure 2) qui se développent d'autant plus que les espaces sont ouverts (clairière, secteur de coupes forestières, ...). Des blocs de grès et des chaos, caractéristiques de ces forêts, sont également présents (figure 3).

L'absence d'ouverture visuelle et la continuité des peuplements confortent le sentiment d'un grand ensemble naturel cohérent. La qualité d'insertion de l'ouvrage d'art dans ce type de paysage est liée à sa capacité à ne pas créer de rupture traumatisante dans la perception très homogène du massif forestier.

Ainsi, l'insertion de l'écopont dans l'écologie du paysage devait tenir compte de la qualité du couvert végétal forestier, de sa continuité sans ouverture brutale ni rupture, de son rôle d'accompagnement dans la découverte de l'ouvrage depuis les points les plus fréquentés, du respect de la topographie existante et enfin de la reconstitution du milieu forestier après travaux.

### LA QUALITÉ DU COUVERT VÉGÉTAL FORESTIER ET LE PRINCIPE DE CONTINUITÉ

Les milieux forestiers existants à l'ouest et à l'est de l'ouvrage d'art ne sont pas homogènes. À l'ouest, le peuplement de pins sylvestres est jeune et nécessite un travail d'éclaircies. À l'est, le peuplement est presque mature et son renouvellement est d'ores et déjà planifié à un horizon relativement proche de 10 à 15 ans.

Ainsi, le travail d'écologie du paysage aux abords de l'écopont devait anticiper l'évolution de ces peuplements. Deux zones d'intervention ont ainsi été définies :

- Une zone d'intervention dans l'emprise des travaux de Sanef ;
- Une zone d'intervention élargie englobant les parcelles au-delà de la zone de travaux et la gestion des peuplements avec l'accord et le concours de l'Onf (figure 4).



5 © AFVAL

Ces interventions ont permis des transitions douces répondant aux objectifs suivants :

- Homogénéiser les peuplements en travaillant un mode de gestion spécifique sur la zone d'intervention élargie (éclaircies sélectives côté Ouest et conservation sélective côté Est) ;
- Conserver les sujets isolés ou bouquets d'arbres, placés notamment en premier plan de l'ouvrage pour l'attraction de ce dernier pour la faune ;
- Planter des sujets déjà grands, là où un défrichage était nécessaire ;

#### 5- Paysage de landes sur le site.

#### 6- Évolution du paysage aux abords de l'ouvrage.

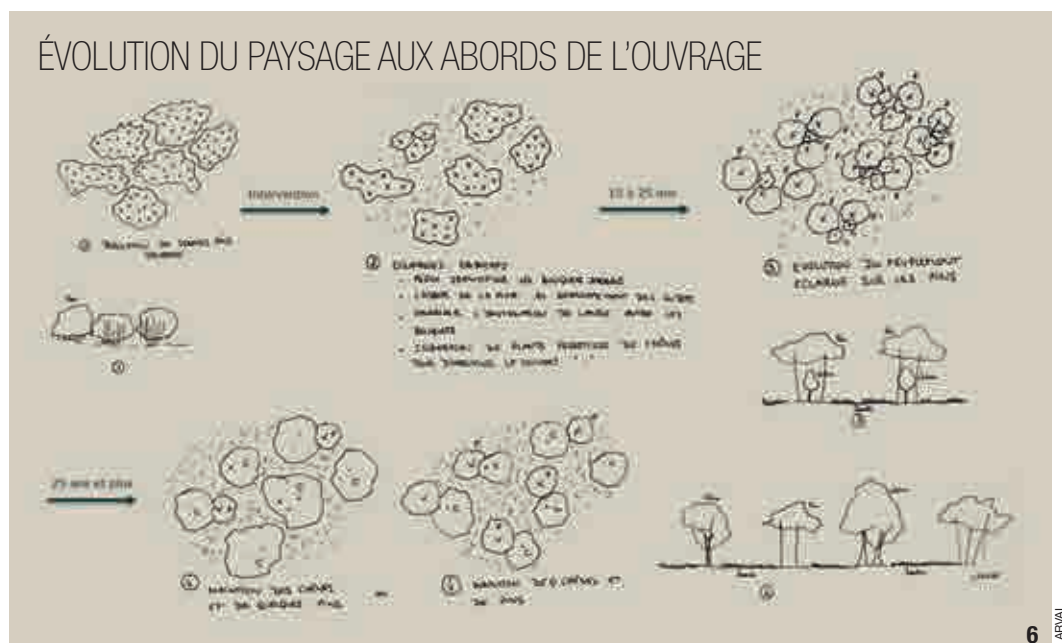
#### 5- Heath landscape on site.

#### 6- Change of landscape around the structure.

- Diversifier les peuplements de pins monospécifiques existants avec des essences feuillues indigènes (chênes, bouleaux et sorbiers) ;
- Laisser la forêt se régénérer naturellement, là où les espaces ne sont pas fortement perceptibles.

### LE RESPECT DE LA TOPOGRAPHIE EXISTANTE ET LA RECONSTITUTION D'UN PAYSAGE ET ÉCOSYSTÈME FORESTIER

La sensibilité des milieux situés dans l'environnement direct de l'ouvrage a impliqué de prendre les mesures opérationnelles les moins envahissantes et les moins impactantes possibles.



6 © AFVAL



© BOUYGLIES  
7

Le remaniement de la topographie nécessaire aux travaux de l'écopont devait être le plus faible possible. Les terrassements ont notamment concerné la création des rampes d'accès au chantier et la réalisation des talus de raccordement à l'ouvrage d'art. Les installations de chantier ont été implantées sur ces emprises remaniées. Ainsi, l'insertion paysagère de l'ouvrage passe par une optimisation des terrassements et un calage fin des accès de chantier permettant à la fois de minimiser les emprises, les mouvements de terre et la suppression des arbres existants. Le PNR et les conservatoires botaniques et des espaces naturels avec l'aide de

**7- Fûts de piles construits en terre-plein central.**

**8- Vue aérienne montrant accès de chantier depuis l'auto-route.**

**7- Piles built on central reserve.**

**8- Aerial view showing site access from the motorway.**

l'Onf tentent de favoriser le développement du réseau des landes en forêt et ont souligné la pertinence de profiter de ce projet d'écopont pour développer la richesse écologique apportée par les landes en forêt (figure 5).

Ainsi, si l'homogénéisation des peuplements à l'ouest et à l'est est souhaitable, il n'a pas été question de réaliser pour autant un couvert végétal homogène (arbres de même essence, disposés à équidistance, les uns des autres). En effet, contrairement à la gestion des forêts d'exploitation et dans le but de favoriser l'installation de landes, le couvert végétal s'organise entre bouquets d'arbres de plusieurs

essences indigènes et espaces semi-ouverts. Cela assure la mise en œuvre d'une transition douce avec la lisière forestière en arrière-plan et permet de ne jamais dénuder totalement les abords de l'écopont tout en permettant aux bruyères de se développer naturellement (figure 6).

Dans le cadre de la dérogation accordée au projet pour atteinte à des espèces protégées, un ensemble d'autres mesures a été mis en place afin d'obtenir des incidences résiduelles faibles à négligeables sur les différentes espèces faunistiques et floristiques, tout en assurant la fonction première de l'ouvrage : la restauration de la transparence écologique.

Par exemple, les interventions ont eu pour objectifs de :

- Récupérer sur site les matériaux, les végétaux ou produits de fauche de manière à réimplanter de manière naturelle les espèces indigènes ;
- Renapper après les travaux les matériaux prélevés et des matériaux d'apports complémentaires dont les caractéristiques physico-chimiques sont équivalentes ;
- Planter, en plus des bruyères préservées, des blocs de grès afin de reconstituer un continuum de landes tout en permettant de stabiliser les pentes sableuses des talus générés ;
- Prolonger la lande sur le tablier de l'ouvrage d'art ;
- Mettre en culture, avec le partenariat de lycées agricoles, des plantes issues d'un ramassage de graines de bruyère cendrée in situ ;
- Déplacer une station de fraiseur vert pour prévenir l'impact des travaux sur celle-ci ;
- Recourir le moins possible à des plants de provenance horticole et valider avec les écologues les essences concernées.

### **TRAVAUX UN CHANTIER PHASÉ, RESPECTUEUX DES AVOISINANTS ET DE LA FORÊT**

La construction de l'écopont d'Ermenonville, cet ouvrage grande faune de 50 m de longueur par 30 m de largeur, à deux travées, a débuté en novembre 2021 pour une durée de 14 mois.

Pour la phase de construction de l'ouvrage, la programmation des travaux était notamment dictée par ces objectifs :

- Limiter les impacts sur le massif forestier d'Ermenonville et préserver sa biodiversité ;



© DRONES PRESS  
8



- Assurer la continuité de la circulation autoroutière en limitant l'impact sur les usagers ;
- Assurer les conditions de sécurité adéquates au maintien de la circulation autoroutière et à la protection des personnels intervenants sur l'opération ;
- Assurer l'intégration de l'ouvrage et ses aménagements à son environnement et à la forêt d'Ermenonville, site classé ;
- Les objectifs environnementaux du maître d'ouvrage ont été atteints grâce à la mise en œuvre de Plans d'Assurance Environnement (PAE), système de management environnemental des travaux qui permet de prévenir les impacts de ceux-ci sur l'environnement.

Les travaux ont été programmés en deux temps :

- Une première phase en terre-plein-central (TPC), au milieu de l'autoroute A1 entre les deux sens de circulation maintenus en service (2x3 voies) pour la construction de l'appui central (pile).
- Une seconde phase pour la réalisation des appuis d'extrémité (culées), du tablier et de ses équipements, puis des remblais et aménagements définitifs. Au cours de celle-ci, quelques coupures d'autoroute nocturnes ont été programmées pour mener en toute sécurité, les opérations de construction en lien avec le tablier.

Ces deux phases de travaux ont nécessité deux installations de chantier spécifiques avec deux configurations différentes pour la circulation autoroutière. Dans un premier temps, la circulation autoroutière était déviée vers la bande d'arrêt d'urgence de l'autoroute pour permettre de libérer une zone d'environ 10 m de largeur au milieu de l'autoroute pour la réalisation des 8 pieux de 22 m chacun puis les 8 fûts de pile. Des démolitions et aménagements ont été réalisés pour permettre l'installation de chantier, les accès chantier étant inévitablement réalisés par l'autoroute (figure 7).

La seconde phase de travaux se déroulait principalement en bord de forêt d'Ermenonville et sur les emprises autoroutières. La circulation était alors déviée vers le TPC à la suite de la finalisation des travaux de la première phase, libérant de l'espace au niveau des accotements. L'objectif prioritaire était de permettre l'ensemble des accès chantier par l'autoroute et ainsi préserver la forêt adjacente au chantier (figure 8).



9 © BOUYGUES

#### 9- Préfabrication des poutres.

10- Aménagements sur l'écopont avec intégration de blocs de grès.

#### 9- Beam precasting.

10- Improvement works on the eco-bridge with inclusion of sandstone blocks.

D'importants aménagements sur la zone ont été réalisés préalablement au démarrage des travaux de fondations, pour environ 3500 m<sup>2</sup> de pistes et plateformes de chantier réparties de part et d'autre de l'autoroute. Ces aménagements ont été réalisés en matériaux recyclés et protégés par des clôtures faune empêchant les intrusions sur les emprises chantier.

Les eaux générées sur la zone de chantier (ruissellement, fines, pollution accidentelle, etc.) ont été gérées par l'intermédiaire d'un système d'assainissement provisoire composé de fossés et de filtres à paille, orientant les eaux vers le réseau d'assainissement autoroutier pour leur évacuation.

En complément, des bacs de décantation ont été mis à disposition pour la phase de fondations profondes pour permettre une décantation des

eaux avant leur évacuation vers le réseau d'assainissement autoroutier. L'ensemble de ces aménagements a été déposé en fin d'opération avec une remise en état du terrain à l'initial.

### LA PRÉFABRICATION FORAINE DES POUTRES POUR LIMITER LES TRANSPORTS ROUTIERS

Le chantier a également fait le choix d'installer une aire de préfabrication foraine à proximité directe du chantier. Cette dernière a permis de réaliser en part propre plusieurs pièces préfabriquées pour le génie-civil de l'ouvrage, en limitant la distance au chantier et donc le temps de transport routier entre le lieu de préfabrication et le lieu de pose. Cette initiative s'inscrit dans le processus de décarbonation des activités de génie-civil (figure 9).

### RÉUTILISER LES MATÉRIAUX DU SITE POUR DES TERRASSEMENTS À L'IMPACT CARBONE LIMITÉ

Conformément aux prescriptions de l'arrêté préfectoral validé par le Conseil National de la Protection de la Nature (CNPN), les opérations de terrassement pour les aménagements préparatoires et la création de l'ouvrage ont tout d'abord fait l'objet d'un décapage par couches pour dissocier les différents horizons présents sur le site (terre végétale, "sable végétal", sable de Beauchamp, remblais anthropiques apportés lors de la création de l'autoroute).

Stockés sur les emprises chantier ou à proximité afin de limiter l'impact carbone des travaux et les risques associés à leur évacuation par l'autoroute, ces matériaux pour un volume global d'environ 5000 m<sup>3</sup> ont fait l'objet de stockages distincts et d'un affichage d'identification. L'ensemble de ces matériaux stockés a été remis en œuvre lors de la réalisation des rampes de l'ouvrage, des aménagements définitifs et de la



10 © ARTOSIDRONES



©ARTOISDRONES

11

**11- Vue d'ensemble de l'éco-pont avec blocs de grès intégrés dans les perrés.**

**11- Overall view of the eco-bridge with sandstone blocks included in the riprap.**

remise en état du terrain au niveau des zones d'accès. Malgré le choix réfléchi de la zone pour sa topographie naturelle, l'opération était déficitaire d'environ 9 000 m<sup>3</sup>, pour la création des rampes de l'ouvrage principalement du fait du gabarit autoroutier. Encore une fois, la recherche d'une solution locale, limitant l'impact carbone a été initiée. Un sable d'apport similaire au contexte géologique du site ainsi qu'une grave non traitée de type calcaire pour les remblais techniques ont été approvisionnés de carrières locales situées à une vingtaine de kilomètres du chantier. Enfin, la découverte de nombreux blocs

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**BÉTON : 2 300 m<sup>3</sup>**

**PIEUX : diamètre 800 à 1 200 mm et longueur 22 à 33 m**

**POUTRES PRÉCONTRAINTES (pré-tension) : 48 poutres de 23,50 m de longueur**

**ÉCRANS DE PROTECTION EN BOIS : linéaire de 190 m et hauteur de 2,40 à 3,20 m**

**DÉBLAIS STOCKÉS SUR LE SITE ET RÉUTILISÉS EN DÉFINITIF : 5 500 m<sup>3</sup>**

**REMBLAIS D'APPORT : 9 000 m<sup>3</sup>**

**ÉPAISSEUR DE REMBLAI SUR LE TABLIER (matériaux drainants + géotextile antiracinaire + sable) : 70 cm**

**BLOCS DE GRÈS DÉCOUVERTS ET RÉUTILISÉS : 200 u**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE : Sanef**

**MAÎTRE D'ŒUVRE : Arcadis (mandataire) / Arval / Ameten**

**GROUPEMENT D'ENTREPRISES : Bouygues Travaux Publics Régions France / Profond / Aximum / Colas France**

**ÉCOLOGUE ASSISTANT À MAÎTRISE D'OUVRAGE : Ecosphère**

**COORDONNATEUR SPS : Presents**

de grès lors des opérations de terrassement a permis leur intégration dans les perrés de l'ouvrage (figure 11), dans les talus autoroutiers contigus ainsi que sur les rampes et sur le tablier remblayé pour permettre l'intégration de l'ouvrage de façon cohérente, dans son environnement (figure 10).

## NOTICE DE GESTION ET CHARTE D'ENGAGEMENT

Les mesures de suivi écologique et d'entretien de l'écopont ont fait l'objet d'une notice de gestion détaillant le contexte environnemental de l'ouvrage et les opérations à mettre en œuvre après sa construction.

Afin de sceller l'engagement des parties prenantes pour le maintien de la biodiversité au sein du massif forestier et leur contribution à la réalisation de l'écopont, une charte d'engagement a été signée en novembre 2022. Les 15 signataires se sont ainsi engagés à porter un ensemble d'actions pour assurer la pérennité des aménagements (suivi et entretien pour le maintien des fonctionnalités de l'ouvrage, protection foncière et juridique, mise en valeur, ...). □

## ABSTRACT

### A1 MOTORWAY: ERMENONVILLE ECO-BRIDGE

HAFSA DEVALVRE-ZEROUKI, ARVAL - LISA BOUDEHENT, ARCADIS - CLAIRE RAVETTI, ARCADIS - JEAN-CHARLES PHILIPPART, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS RÉGIONS FRANCE - MAXIME MOITEL, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS RÉGIONS FRANCE

*The Ermenonville eco-bridge is a two-span structure 30 metres wide and 50 metres long, passing over the A1 motorway. It restores ecological continuity (fauna and flora) between the forests of Ermenonville and Chantilly, in the Oise region of France. As of the design stage and through to completion of the work, environmental issues were a key consideration of the various entities involved in the project. Ecological and maintenance monitoring of the bridge will now make it possible to check its satisfactory functioning, and in particular to ensure that it is used exclusively by wildlife. □*

### AUTOPISTA A1: ECOPUENTE DE ERMENONVILLE (DPTO. 60)

HAFSA DEVALVRE-ZEROUKI, ARVAL - LISA BOUDEHENT, ARCADIS - CLAIRE RAVETTI, ARCADIS - JEAN-CHARLES PHILIPPART, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS RÉGIONS FRANCE - MAXIME MOITEL, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS RÉGIONS FRANCE

*El ecopuente de Ermenonville es una construcción de 30 m de ancho y 50 m de largo con dos luces que franquea la autopista A1 y restablece la continuidad ecológica (fauna y flora) entre los bosques de Ermenonville y Chantilly, en el departamento francés de Oise. Desde la fase de diseño hasta la finalización de las obras, las cuestiones medioambientales han estado en el centro de las reflexiones de los distintos actores del proyecto. En adelante, los seguimientos ecológicos y de conservación del puente garantizarán la correcta funcionalidad de esta construcción, y en especial su uso exclusivo por la fauna. □*



1  
© CD06

# CONSTRUCTION D'UNE GALERIE PARE-BLOCS ET PARAVALANCHES POUR RÉTABLIR L'ACCÈS AU HAMEAU DE CASTERINO (06)

AUTEURS : RÉGIS RANCIER, CHEF DE PROJET OA, EGIS - BENOÎT BOLZICCO, INGÉNIEUR TRAVAUX OA, EGIS - RENAUD PAQUIER, DIRECTEUR D'AGENCE, NGE GÉNIE CIVIL PACA - FRANC CHABBERT, DIRECTEUR RÉGIONAL ADJOINT, NGE FONDATIONS - ANTOINE ALBIN, CONDUCTEUR DE TRAVAUX, NGE FONDATIONS NICE

LORS DE LA TEMPÊTE ALEX D'OCTOBRE 2020, LA ROUTE PRINCIPALE RD91 MENANT AU SITE TOURISTIQUE DE LA VALLÉE DES MERVEILLES A ÉTÉ EMPORTÉE EN PLUSIEURS ENDROITS ET NOTAMMENT PAR UN COULOIR D'ÉBOULEMENT ISOLANT LE HAMEAU DE CASTERINO. LA CONSTRUCTION D'UNE GALERIE PARE-BLOCS ET PARAVALANCHES S'INSCRIT DANS LE PROGRAMME LANCÉ PAR LE CONSEIL DÉPARTEMENTAL DES ALPES MARITIMES (CD 06) POUR RÉTABLIR DE MANIÈRE PÉRENNE LES ACCÈS ROUTIERS DANS LE SECTEUR DE LA ROYA SUITE AUX DÉGÂTS DE LA TEMPÊTE.

## CONTEXTE ET ÉLÉMENTS DE CONCEPTION

### LES ATTENTES DU MAÎTRE D'OUVRAGE

Après la tempête Alex, le Conseil Départemental des Alpes Maritimes (06) souhaite rétablir très rapidement la route départementale RD 91 pour rompre l'isolement du hameau de Casterino et rouvrir l'accès à la Vallée des Merveilles.

Un couloir d'éboulement majeur (figure 1) nécessite la construction d'un ouvrage d'art de 60 m de portée, entre deux éperons rocheux affleurants situés de chaque côté de la brèche.

Le traitement de cette brèche nécessite la réalisation de deux ouvrages complémentaires :

→ Un ouvrage de franchissement de la brèche ;

1- Vue de l'éboulement.

1- View of the rock fall.

→ Un ouvrage de protection durable du couloir d'éboulement qui aura pour rôle de canaliser les blocs et éboulements éventuels afin de sécuriser les usagers de la RD91.

À terme, la mise en place de l'ouvrage de protection devra permettre d'atteindre un aléa très faible d'impact de blocs sur l'ouvrage de franchissement.



© EGIS - JB. NAPPI

2

## UNE VOLONTÉ DE RÉTABLIR L'ACCÈS AU HAMEAU DE CASTERINO AU PLUS VITE

Un délai de réalisation très court est fixé à douze mois dont deux mois de période de préparation intégrant les études d'exécution.

Compte tenu de la particularité du site complexifiant le phasage des travaux et afin de compresser au maximum le délais des études, le Conseil Départemental a attribué le marché de "conception - réalisation" au groupement de constructeurs et d'ingénierie :

**2- Maquette numérique de la galerie.**

**3- Avalanche répertoriée au droit de l'ouvrage.**

**4- Taille des blocs après éboulement.**

**2- Computer model of the gallery.**

**3- Avalanche identified at the level of the structure.**

**4- Size of blocks after rock fall.**

Nge Génie Civil/Nge Fondations/Guintoli et Egis dont la solution de galerie pare-blocs et paravalanches présente l'avantage d'être un ouvrage de protection avec un niveau d'aléa très faible d'impact de blocs sur l'ouvrage de franchissement.

### UN CONTEXTE DIFFICILE

L'ouvrage se trouve dans un site montagnard très escarpé. Le couloir d'éboulement dans lequel les masses continuent d'évoluer présente une pente proche des 40° par rapport

à l'horizontale. Le dimensionnement de l'ouvrage et sa mise en œuvre doivent intégrer des mesures de protection en phase provisoire tel qu'un écran pare-blocs assurant la sécurité des travailleurs vis-à-vis des chutes de blocs.

La RD91 est une route de montagne très sinueuse et d'accès difficile, qui plus est endommagée par la tempête Alex en de nombreux endroits. L'acheminement sur site est contraint au transport d'éléments de 8 m de longueur maximum. ▷



3

© CD06



4

© NGE



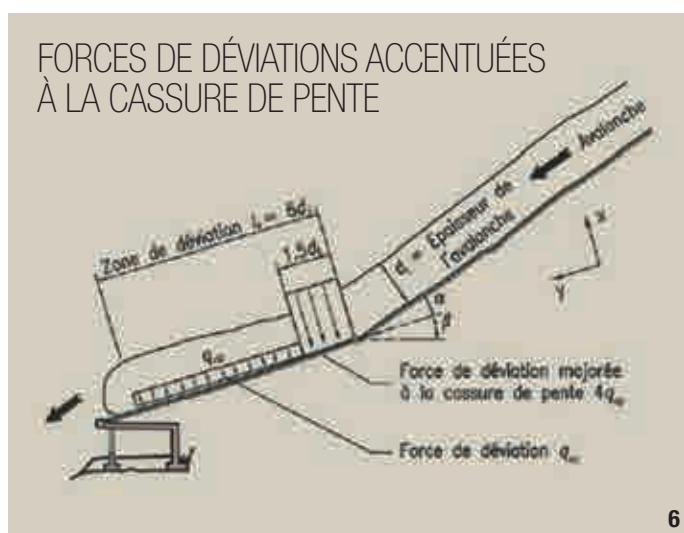
5 © EGIS - JB. NAPPI

Aux abords de la brèche, la route, positionnée à flanc de versant, ne mesure pas plus de 6 m de largeur ce qui impose des emprises très réduites et un phasage de construction complexe. À 1435 m d'altitude, les intempéries de l'hiver (température, pluie et neige) présentent un enjeu majeur pour le respect des délais et vis-à-vis des risques naturels : en plus des chutes de blocs, la brèche est un couloir d'avalanches identifié et équipé de Câbles Transporteurs d'Explosifs (CATEX). Le délai d'exécution est alors très contraint pour éviter notamment les bétonnages par temps froid.

L'ouvrage est construit dans un site patrimonial et les études nécessitent la réalisation d'un dossier architectural avec maquette numérique (figure 2) pour bien appréhender son intégration paysagère.

### DE NOMBREUX ALÉAS NATURELS Avalanches

La Carte des Localisations des Phénomènes d'Avalanches (CLPA) (mise



6 © ASTRA 12.007

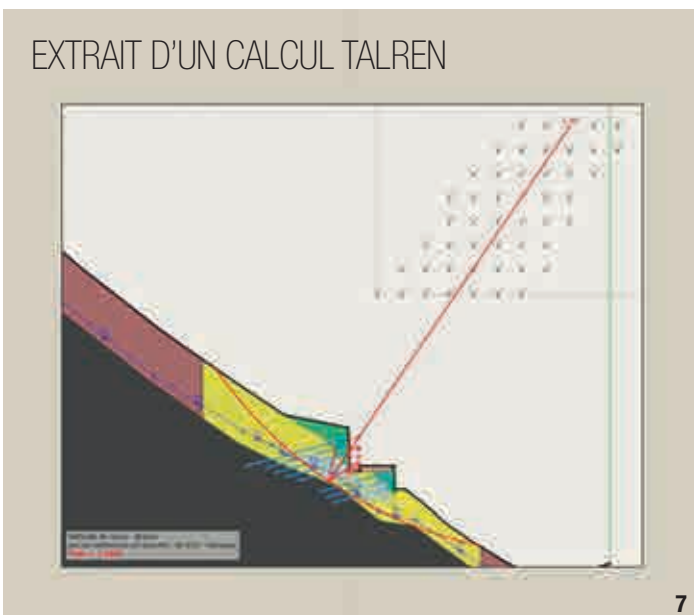
à disposition par l'INRAe) recense les phénomènes observés et historiques. Ces données recoupées avec le témoignage des agents territoriaux ont permis de définir les principaux paramètres de chaque événement avalancheux. Neuf avalanches sont recensées entre

2000 et 2014 atteignant la RD91 avec une hauteur de neige de dépôt comprise entre 1 m et 2 m. L'avalanche la plus importante date de 2000 après avoir été déclenchée au CATEX à la suite de chutes de neiges importantes (51-100 cm). Elle présen-

- 5- Maquette numérique de la galerie.
- 6- Forces de déviations accentuées à la cassure de pente.
- 7- Extrait d'un calcul Talren.
- 8- Coupe transversale de la galerie.

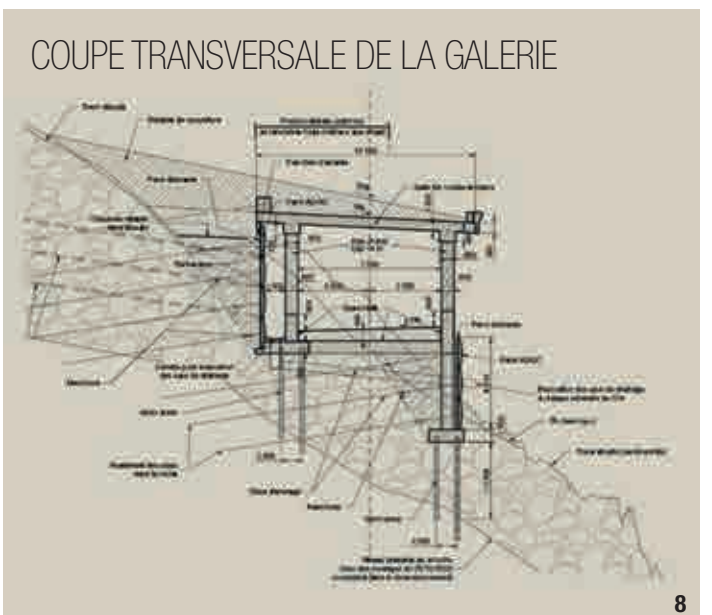
- 5- Computer model of the gallery.
- 6- Increased deviation forces at slope change.
- 7- Excerpt from a Talren computation.
- 8- Cross section of the gallery.

tait une hauteur de dépôt de 5 m sur la RD91 n'occasionnant qu'une coulée jusqu'à la mi-pente. La figure 3 présente une avalanche recensée dans le secteur. **Chutes de blocs**  
Les hypothèses à considérer pour les chutes de blocs sont définies à partir



7

© EGIS / NGE FONDATIONS



8

© EGIS

d'une visite de terrain par un géologue et d'une simulation trajectographique de plus de 50 000 jets.

La galerie de protection est alors dimensionnée pour reprendre des chutes de blocs de 5 t pouvant atteindre un niveau d'énergie cinétique de l'ordre de 500 kJ. En complément, une coulée de petits blocs est prise en compte pour tenir compte de l'accumulation de dépôt sur l'ouvrage et limiter les interventions ultérieures de vidange. La figure 4 montre la taille des blocs après éboulement.

Un barrage souple de protection pare-blocs est disposé en amont du versant pour assurer la sécurité du chantier pendant la durée des travaux.

L'ouvrage de protection devra être transparent au niveau hydraulique et mécanique pour une libre circulation dans le couloir d'éboulement.

### Séisme

L'ouvrage se situe en zone de sismicité moyenne suivant le décret n°2010-1255 du 22 octobre 2010 portant sur la délimitation des zones.

### DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

La solution proposée par le groupement consiste à stabiliser le couloir d'éboulement à l'aide de deux murs de soutènement et de construire la galerie de protection indépendante des efforts de poussée du versant.

La chaussée à l'intérieur de la galerie est ainsi protégée contre les écoulements de blocs et d'avalanches qui sont déviés par-dessus la couverture (figure 5).



9  
© NGE

**9- Pelle araignée sur chantier difficile.**

**10- Réalisation des clous en paroi amont.**

**11- Découverte et repérage du toit rocheux.**

**9- Walking excavator on rough site.**

**10- Nailing on upstream face.**

**11- Uncovering and identification of the rock roof.**

L'implantation résulte d'un équilibre entre le rapprochement au rocher sain sous-jacent pour s'ancrer et l'éloignement de la cassure de pente au pied du couloir d'éboulement pour s'affranchir des efforts importants de déviation (figure 6) localisés à cet endroit en cas de chutes de blocs et d'avalanches. Le versant est stabilisé par deux parois clouées préfabriquées de type AD/OC® (produit développé par Nge Fondations), une à l'amont et une à l'aval, qui s'ancrent au rocher sous-jacent et offrent une meilleure stabilité du versant au grand glissement. Les poussées des terres ne sont ainsi pas transmises à la structure génie civil (figure 7).

L'ouvrage de franchissement est coulé en place et par conséquent adaptable à la géométrie réelle du rocher in situ. La structure de l'ouvrage pare-blocs est un ouvrage monolithique en béton suffisamment armé pour obtenir un comportement ductile à la rupture. Elle est constituée d'une dalle encastrée (structure réceptrice) sur deux lignes d'appuis linéiques (structure porteuse). La dalle de l'ouvrage de franchissement est inclinée à 5% vers l'aval pour permettre l'évacuation des eaux d'infiltration. Le remblai de couverture est érigé avec une pente de 25% pour exploiter au maximum l'effet d'éjection du bloc (restitution d'énergie) et apporter de la stabilité au couloir d'éboulement.

Les efforts horizontaux de chutes de blocs et d'avalanches appliqués sur la structure sont repris par des ancrages subhorizontaux de la dalle de couverture.

Les appuis sont constitués de poteaux circulaires reposant via une longrine sur une semelle de répartition fondée sur micropieux. Les poteaux côté aval sont conçus avec des articulations à section de béton rétrécie en tête pour limiter les efforts de flexion.

Des butons - tirants relient deux à deux les poteaux des appuis pour rigidifier la structure transversalement, et empêcher le flambement des poteaux aval.

Pour limiter les terrassements et le risque de déstabiliser le couloir en phase provisoire, les semelles sont scindées en plots de quatre micropieux positionnés au droit de chaque poteau. ▷



10  
© EGIS / BENOÎT BOLZICCO



11  
© EGIS / BENOÎT BOLZICCO



12  
© EGIS / BENOÎT BOLZICCO

Les micropieux traversent la couche d'éboulis pour s'ancrer dans le rocher sain et sont dimensionnés pour reprendre les charges verticales et un déplacement horizontal des éboulis correspondant au déplacement de la paroi clouée en aval sous l'effet de la poussée des terres (figure 8).

La structure s'apparente à un ouvrage d'art classique en béton armé de type portique encastré. Aucun entretien spécifique n'est à prévoir si ce n'est un suivi régulier par des inspections détaillées. La formulation du béton et l'enrobage des armatures passives sont dimensionnés pour obtenir une résistance suffisante aux sels de déverglaçage.

Le remblai de couverture joue le rôle d'amortisseur contre les chocs de blocs et permet de diminuer avantageusement les sollicitations sur la structure. Il est ainsi possible de prévenir les perforations et les éclatements en face supérieure et inférieure de la dalle en cas de choc de gros bloc. La zone tampon de remblai de couverture entre la cassure de pente et l'ouvrage de franchissement permet de ne pas occasionner de sollicitations dynamiques trop importantes sur les structures et de minimiser les épaisseurs de matériaux sur la couverture en cas d'éboulement.

## MÉTHODE DE CONSTRUCTION

### RECONNAISSANCES DU ROCHER

Dès le démarrage des travaux en plein hiver, de nombreux sondages de reconnaissance du rocher sain ont été réalisés. Une pelle araignée (figure 9) a été utilisée en raison des difficultés d'accès dans les éboulis.

D'après les paramètres de forages, une cartographie 3D du rocher sain a pu être reconstituée. Plusieurs essais de convenance et de contrôle de scelle-

**12- Pose du parement préfabriqué de la paroi clouée.**

**13- Remblaiement de la paroi clouée.**

**12- Placing the soil-nailed wall precast facing.**

**13- Soil-nailed wall backfilling.**

ments ont été exécutés ce qui a permis de fiabiliser la technique de forage et les paramètres de calcul des scellements.

Malgré les conditions très difficiles, l'ensemble de ces données a pu être récupéré très rapidement pour ajuster les modèles de calculs et dimensionner les structures.

### PAROIS AD/OC®

Le choix des soutènements nécessaires à la sécurisation du versant en phase provisoire et définitive s'est orienté vers des AD/OC®.

La paroi AD/OC® est une paroi clouée dont le parement est composé d'écailles de béton préfabriquées et donc drainant à la place du parement en béton projeté armé classique.

Ce type de soutènement a été utilisé pour conforter ou recouvrir près de 6 500 m<sup>2</sup> de paroi dans la vallée de la Roya entre 2020 et 2022.

Sur ce chantier, cette solution s'est avérée parfaitement adaptée pour assurer la durabilité de l'ouvrage grâce à la qualité du béton préfabriqué C40/50 XF4 réalisés en usine, d'une part, et pour optimiser le temps de mise en œuvre, d'autre part :

→ Pas de problématique de bétonnage par temps froid ;



13  
© EGIS / BENOÎT BOLZICCO

- Pas d'aléas routiers pour ce site d'accès difficile grâce au stockage préalable des écaïlles ;
- Rapidité de montage des écaïlles en remblais partiel, sans recourir à des coffrages (figure 11) ;
- Intégration paysagère avec possibilité de matricage des écaïlles imitation pierre (option finalement non retenue sur ce chantier).

## DRAINAGE

Les venues d'eau présentent un enjeu majeur pour la stabilité du versant et dans la conception de l'ouvrage.

De nombreux drains subhorizontaux ont été créés pour capter l'eau le plus en amont possible à l'interface substratum rocheux/éboulis et les parois AD/OC® constituent naturellement un parement drainant.

Les eaux sont collectées dans une cunette positionnée dans l'ouvrage puis évacuées directement à l'aval.

La cunette suffisamment large est accessible pour son entretien et a volontairement été dissociée de la circulation pour ne pas constituer de gêne aux usagers.

## ÉTANCHÉITÉ DE L'OUVRAGE

Une étanchéité de type géomembrane est placée sous chaussée pour préserver les clous de la paroi inférieure et les micropieux contre les agressions chimiques des eaux de chaussée pouvant être chargées de sels de déverglaçage.

La dalle de la galerie a également été étanchée avec une géomembrane pour s'affranchir du délai de séchage du béton.



14  
© EGIS / BENOÎT BOLZICCO

**14- Réalisation des butons.**  
**15- Étanchéité sous chaussée.**

**14- Execution of struts.**  
**15- Water-proofing under pavement.**

## GALERIE

Le béton de la centrale provient de la centrale la plus proche mise en service pour tous les travaux de la Roya (45 mn de transport en temps normal). Il a fait l'objet d'une convenance pour s'assurer que la formulation soit appropriée aux conditions climatiques et au temps de transport.

L'usage de pièces préfabriquées a été fait autant que possible pour optimiser le délai des travaux (parois AD/OC®, casquette, butons, corniches) mais la dalle de couverture qui présente une surface gauche de l'intrados du fait des fortes pentes dans les deux directions et la courbure a dû être un bétonnée sur un cintre.

La RD91 étant le seul accès de chantier, le cintre a été conçu de manière à permettre la circulation des engins de chantier sous la dalle de couverture pour les phases de bétonnage et de remblaiement. L'entreprise a dû travailler en poste pour compenser la durée du bétonnage sur site de la dalle de couverture.

## DÉROULEMENT DES TRAVAUX

Les travaux se sont déroulés d'avril à décembre 2022.

Les travaux ont débuté par la réalisation de la paroi clouée amont, constituée de 92 clous de longueur variant de 3 à 11 m, et de diamètre 40 mm, ainsi que de 33 drains subhorizontaux d'une longueur moyenne de 25 m.

La paroi amont est surmontée d'une ligne de clou de diamètre 50 mm s'ancrant directement dans la structure de l'ouvrage.

Les travaux ont fait l'objet d'essai de conformité avant le démarrage des travaux puis d'essais de contrôle en cours de travaux.

La méthode de forage retenue par l'entreprise était la méthode Essefex, permettant de traverser les blocs pluri métriques constituant l'épaisseur d'éboulis tout en gardant un tubage à l'avancement jusqu'au contact avec le substratum.

Suite au forage et à l'injection de l'ensemble des clous de la paroi amont, les travaux se sont poursuivis sur la paroi aval de l'ouvrage, constituée de 55 clous de diamètre 28 mm, pour une longueur de 5 à 12 m.

L'objectif recherché était un ancrage du clou de 3 m minimum dans le rocher sain, détectable au vu des vitesses d'avancement du forage visibles sur les enregistrements de paramètres. Les travaux de réalisation des clous (figure 10) se sont terminés en juillet 2022.

Les travaux de terrassements ont été réalisés à l'avancement des travaux de clous.

La position du toit rocheux (figure 11) a été constatée à ce moment-là, pour adapter l'ouvrage via une mise à jour des études d'exécution.



15  
© EGIS / BENOÎT BOLZICCO



## 16- Bétonnage de traverse.

### 16- Cross member concreting.

Une fois les clous réalisés, les travaux se sont poursuivis par la réalisation des micropieux et semelles de fondations, d'abord à l'aval de la brèche puis à l'amont.

Par la suite, le parement préfabriqué AD/OC® de la paroi clouée a été posé (figure 12).

La fabrication des écailles a été réalisée dans les ateliers de Lagarrigue (Aveyron - Groupe Nge). Le béton utilisé est un béton C40/50 XF4, offrant ainsi la durabilité requise vis-à-vis des cycles de gel/dégel et sels de déverglaçages.

Une fois les écailles posées, le remblaiement a été effectué à l'arrière de celles-ci, par un matériau drainant type 50-100, permettant le drainage des eaux, en complément des drains subhorizontaux.

Une fois les remblais effectués (figure 13), les travaux de béton armé de la structure de la galerie se sont poursuivis par la réalisation du butonnage (figure 14) entre faces amont et aval, puis la pose de l'étanchéité sous chaussées (figure 15), pour protéger les parties enterrées de l'ouvrage des sels de déverglaçage.

Les poteaux une fois construits, le montage du cintre a été réalisé, avec passe charretière pour le trafic de chantier. L'ouvrage étant constitué de 3 plots indépendants, la traverse a été bétonnée selon ce calepinage, représentant donc des bétonnages de plus de 80 m<sup>3</sup> (figure 16).

À noter que la centrale disponible dans la vallée se situe à Breil-sur-Roya, à 1h30 de trajet, et sans centrale de secours envisageable.

De façon à parer tout risque d'arrêt de bétonnage impromptu, les conventions ont été poussées jusqu'à 180 minutes de façon à s'assurer du maintien de la rhéologie du béton sur des temps longs.

L'entreprise s'est également équipée du matériel nécessaire à la réalisation d'un arrêt de bétonnage propre en cas de panne de centrale.

Après séchage de la dalle et réalisation de l'étanchéité (étanchéité non adhérente ne nécessitant pas 28 jours de séchage du béton), le remblai de couverture a été réalisé, dernière étape du chantier (figure 17).





17

© EGIS / BENOÎT BOLZICCO

**17- Réalisation du remblai de couverture.**

**17- Execution of covering backfill.**

## CONCLUSION

L'objectif des travaux était de protéger durablement le couloir d'éboulement et de rétablir au plus vite la circulation de la RD91 pour rompre l'isolement du hameau de Casterino. La solution technique proposée devait être la plus adaptée en termes de :

- Coûts de construction ;
- Délais de construction (imposé par le marché) ;

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**VOLUMES DE TERRASSEMENTS : 2500 m<sup>3</sup>**

**VOLUME DE BÉTON : 800 m<sup>3</sup>**

**QUANTITÉ D'ARMATURES PASSIVES : 150 t**

**LINÉAIRE DE CLOUS : 2068 m**

**LINÉAIRE DRAINS FORÉS : 933 m**

**SURFACE DE PAROI CLOUÉES PRÉFABRIQUÉES AD/OC® : 423 m<sup>2</sup>**

**LINÉAIRE DE MICROPIEUX : 519 m**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE : Conseil départemental des Alpes-Maritimes**

**GROUPEMENT D'ENTREPRISES ET D'INGÉNIEURIE :**

**Nge Génie Civil (Mandataire), Nge Fondations, Guintoli (terrassements),**

**Cogeci (études d'exécution), Egis OA / Egis Geo (maître d'œuvre),**

**JB Nappi (architecte Egis)**

- Contraintes d'accès et d'approvisionnement des matériaux ;
- Durabilité de l'ouvrage dans un site difficile sous climat rude ;
- Entretien ultérieur.

La conception et la réalisation de la galerie paravalanche de Casterino a respecté l'ensemble de ces objectifs.

Basés sur des choix constructifs du groupement de conception-réalisation et une mobilisation forte de l'entreprise, les travaux ont duré de mars à décembre 2022, désenclavant ainsi le hameau de Casterino deux ans après la tempête Alex.

De plus, la galerie protégera cet accès du couloir d'éboulement, offrant par conséquent une solution d'aménagement durable de la RD91. □

## ABSTRACT

### CONSTRUCTION OF A ROCK FALL AND AVALANCHE PROTECTION GALLERY TO RESTORE ACCESS TO THE HAMLET OF CASTERINO

RÉGIS RANCIER, EGIS - BENOÎT BOLZICCO, EGIS - RENAUD PAQUIER, NGE GÉNIE CIVIL PACA - FRANC CHABBERT, NGE FONDATIONS - ANTOINE ALBIN, NGE FONDATIONS NICE

**In order to provide long-term protection for the corridor against rock falls and restore traffic on the RD91 highway as soon as possible to end the isolation of the Casterino hamlet, the Conseil Départemental des Alpes Maritimes (CD 06) awarded the contract for design and construction of a rock fall and avalanche protection gallery to the construction and engineering consortium Nge Génie Civil / Nge Fondations / Guintoli and Egis. This robust reinforced concrete engineering structure having a dual crossing and protection function was built in record time despite an extremely adverse environment. □**

### CONSTRUCCIÓN DE UNA GALERÍA PARABLOQUES - PARA AVALANCHAS PARA RESTABLECER EL ACCESO A LA ALDEA DE CASTERINO (DPTO. 06)

RÉGIS RANCIER, EGIS - BENOÎT BOLZICCO, EGIS - RENAUD PAQUIER, NGE GÉNIE CIVIL PACA - FRANC CHABBERT, NGE FONDATIONS - ANTOINE ALBIN, NGE FONDATIONS NICE

**Para proteger de forma duradera el corredor de deslizamientos de tierra y restablecer en la mayor brevedad el tráfico en la carretera RD91 para poner fin al aislamiento de la aldea de Casterino, el Consejo departamental de Alpes Marítimos (CD 06) ha encargado el diseño-realización de una galería parabloques y paraavalanchas a un consorcio de construcción e ingeniería formado por Nge Génie Civil, Nge Fondations, Guintoli y Egis. Esta robusta obra de fábrica de hormigón armado, que cumple una doble función de franqueo y protección, se ha construido en un tiempo récord, pese a un contexto particularmente difícil. □**



1

© CYRILLE DUPONT THE PULSES

# SPRINGBANK SR1 - RÉSERVOIR DE STOCKAGE DES CRUES AU CANADA

AUTEURS : VALENTINE FOSSE, RESPONSABLE COMMUNICATION, VINCI CONSTRUCTION GEOINFRASTRUCTURE -  
PASCAL INSENGA, DIRECTEUR ENVIRONNEMENT & DÉVELOPPEMENT DURABLE, VINCI CONSTRUCTION GEOINFRASTRUCTURE

EN JUIN 2013, LA PROVINCE D'ALBERTA, AU CANADA A FAIT FACE AUX PIRES INONDATIONS DE SON HISTOIRE, ENTRAÎNANT AINSI D'IMPORTANTES PERTES ÉCONOMIQUES ET HUMAINES : 5 MORTS, 80 000 PERSONNES ÉVACUÉES, 4 000 ENTREPRISES TOUCHÉES, PLUS DE 5 MILLIARDS DE DOLLARS DE DOMMAGES. AVEC POUR OBJECTIF DE RÉDUIRE LES RISQUES D'INONDATION, LA PROVINCE D'ALBERTA A INVESTI DANS LA CONSTRUCTION D'OUVRAGES D'ATTÉNUATION DES CRUES DONT LE PROJET DE RÉSERVOIR D'EAU DE SPRINGBANK. CE PROJET EST UN RÉSERVOIR SEC CAPABLE DE STOCKER TEMPORAIREMENT L'EAU DE LA RIVIÈRE ELBOW EN CAS DE RISQUE D'INONDATION. IL COMPREND UNE SÉRIE D'OUVRAGES HYDRAULIQUES ET DEUX PONTS DE FRANCHISSEMENT AU-DESSUS DU CANAL DE DÉRIVATION.

## LOCALISATION

Le projet de Springbank (SR1) est situé à environ 15 km à l'ouest de la ville de Calgary, près de Springbank Road, au nord de la rivière Elbow et à l'est de l'autoroute 22 (figure 2). L'emplacement du réservoir a été

stratégiquement choisi selon les conditions topographiques existantes, car la cuvette déjà présente offre une grande efficacité dans la retenue de l'eau, permettant ainsi une protection supplémentaire contre les inondations ainsi qu'un faible impact environnemental global.

**1- Engins de terrassement sous une nuit boréale.**

**1- Earthmoving machinery in a boreal night.**

## UN PROJET AU SERVICE DE LA RÉSILIENCE CLIMATIQUE DE CALGARY

La SR1 combinée au réservoir de Glenmore à Calgary a pour ambition d'offrir une protection contre les inondations pour les communautés en aval et de

## PLAN DE LOCALISATION DU PROJET



© ALBERTA TRANSPORTATION AND ECONOMIC CORRIDORS

stocker les eaux de crue hors du cours d'eau. Ce projet fait partie du plan de gestion des inondations, des sécheresses et des incendies mis en place par le ministère de l'environnement, ainsi que des zones protégées. Le principe de fonctionnement est simple : en cas de crue avec risque d'inondation, l'eau de la Elbow River en amont de la ville de Calgary est

**2- Plan de localisation du projet.**  
**3- Composantes du projet.**

**2- Project location drawing.**  
**3- Project components.**

déviée, via un canal de dérivation, vers une zone de stockage, puis libérée ultérieurement à faible débit une fois la décrue entamée. La construction a commencé au printemps 2022 et le projet devrait être pleinement opérationnel en 2025, capable d'atténuer les inondations similaires à celles qui se sont produites en 2013.

## LES COMPOSANTES DU PROJET

Le réservoir d'eau de Springbank se divise en trois composantes : une structure de dérivation sur la rivière Elbow, un canal de dérivation de 4,7 kilomètres de long, et un barrage en terre d'une hauteur de 29 m et d'une longueur d'environ 3,8 km (figure 3).

Le terrassement du canal de dérivation est d'environ 5 millions de m<sup>3</sup> de matériaux de déblais, et le volume du barrage de stockage est quant à lui, estimé à 5,4 millions de m<sup>3</sup> de remblais.

La structure de dérivation de la rivière Elbow comporte plusieurs éléments nécessaires à son fonctionnement, tels que l'entrée du canal de dérivation, nécessitant une déviation temporaire du lit de la rivière (figures 4 et 5), le déversoir de service et le déversoir auxiliaire, la berme de plaine inondable et la barrière de déviation des débris. La construction de la nouvelle prise d'eau de dérivation comprend l'excavation, la préparation des fondations, la pose de drains et trous d'homme, les fondations en béton, les murs de soutènement, des bassins de tranquillisation. Cette prise d'eau s'accompagne de portes levantes, de tambours à double câble métallique, d'un treuil et d'un pont de levage, ▷

## COMPOSANTES DU PROJET

Vue générale

### STRUCTURE DE DERIVATION

- 1 Berme de la plaine d'inondation
- 2 Déversoir auxiliaire
- 3 Dérivation temporaire de la rivière
- 4 Déversoir de service
- 5 Entrée de la dérivation
- 6 Barrière de déviation des débris

### CANAL DE DERIVATION

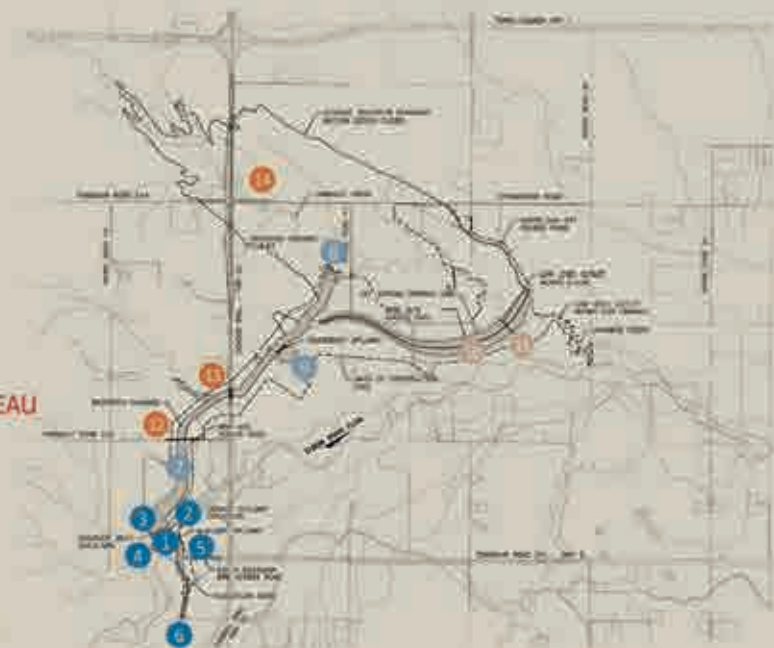
- 7 Canal de dérivation
- 8 Structures de contrôle
- 9 Déversoir de secours

### BARRAGE DE STOCKAGE HORS COURS D'EAU

- 10 Barrage de stockage hors cours d'eau
- 11 Ouvrages de décharge à faible niveau

### PONTS TRAVERSANTS

- 12 Pont de la Township road 242
- 13 Pont de la Highway 22
- 14 Surélévation de la Highway 22



© ALBERTA TRANSPORTATION AND ECONOMIC CORRIDORS

3

de vannes de crête avec vessies pneumatiques, et d'enrochements (figure 6). La construction du déversoir auxiliaire nécessite la préparation des fondations, l'excavation, la mise en place et le nivellement du remblai, la mise en œuvre d'un remblai dur, la couverture de terre végétale et la mise en place d'un blindage en enrochement.

Les travaux d'aménagement de la berme de plaine inondable impliquent la démolition de bâtiments, de trottoirs, de clôtures, de puits et de services publics abandonnés, le décapage de la végétation, la préparation des fondations, et la création d'un drainage et d'un ponceau.

La construction de la barrière de déviation des débris comprend des puits de caisson, la construction de fondations et de murs en béton, l'installation de cadres d'acier et la mise en place d'un enrochement de blindage.

Le canal de dérivation de 24 m de large achemine les débits depuis la prise d'eau de dérivation jusqu'au réservoir de stockage hors cours d'eau. Il comprend un déversoir de secours ainsi qu'une sortie du canal de dérivation (figures 7 et 8).

Le système de barrage et de réservoir d'eau est composé du barrage constitué d'un remblai (figures 9 et 10), d'un ouvrage de décharge à faible niveau (figure 11) et du réservoir.

Ces ouvrages s'accompagnent de la construction de deux nouveaux ponts. Ces ponts en béton préfabriqué et précontraint concernent la route 22 et le chemin de canton 242 qui franchissent le nouveau canal de dérivation (figures 12 et 13).

Plus précisément, un nouveau tracé pour la route 22 entre la route 1 et le chemin South Springbank est construit, y compris le nivellement et l'élargissement, l'excavation de la plate-forme, la mise en place d'une couche de base granulaire, le revêtement en béton bitumineux et le marquage de la chaussée, l'enlèvement du ponceau existant et la construction d'un nouveau pont.

Les travaux intègrent également la construction d'un nouveau canal d'évacuation des eaux usées.

De nombreuses activités sont couvertes par la réalisation tel que le traitement de l'eau par batardeaux, des digues, des canaux de dérivation, des étangs, des confinements, des filtres, des fossés de captage d'eau, des puisards, des systèmes de pompage, pipelines, canaux, canalisations, drains et autres ouvrages d'assèchement.



4

© VINCI CONSTRUCTION GEOINFRASTRUCTURE

**4- Structure de dérivation et dérivation temporaire de l'Elbow river.**

**5- Dérivation temporaire de l'Elbow River.**

**6- Structures d'entrée de la dérivation en construction.**

**4- Diversion structure and Elbow River temporary diversion.**

**5- Elbow River temporary diversion.**

**6- Diversion inlet structures under construction.**



5

© VINCI CONSTRUCTION GEOINFRASTRUCTURE



6

© VINCI CONSTRUCTION GEOINFRASTRUCTURE

## PLANS DU CANAL DE DÉRIVATION



© ALBERTA TRANSPORTATION AND ECONOMIC CORRIDORS

7

### DES ENJEUX FORTS DE PRÉSERVATION DE L'ENVIRONNEMENT

Le projet de réservoir d'eau de Springbank - SR1 est conçu et construit pour minimiser les impacts environnementaux et atténuer les nombreuses préoccupations inhérentes aux processus de réglementation et d'engagement. Les mesures d'atténuation sont mises en œuvre et maintenues par Vinci

7- Plans du canal de dérivation.

8- Terrassement du canal de dérivation.

7- Diversion channel drawings.

8- Diversion channel earthworks.

Infrastructure Canada (VIC) tout au long de la construction. Leur efficacité est régulièrement contrôlée par les représentants d'Alberta Transportation and Economic Corridors.

L'ensemble du personnel du chantier est sensibilisé et formé sur place pour veiller à ce que les mesures de protection de l'environnement ciblées soient mises en œuvre et correctement entretenues tout au long de la construction.

### ATTÉNUATION ET SURVEILLANCE

Durant la phase de préparation de travaux, de nombreux plans d'atténuation et de surveillance ont été élaborés, notamment pour le sauvetage et l'équilibre des poissons, ainsi que leur passage, la qualité de l'air, les eaux de surface et les eaux souterraines, le respect de la faune et de la flore, et de la végétation.

### QUALITÉ DE L'AIR PENDANT LA CONSTRUCTION ET L'EXPLOITATION

La qualité de l'air est contrôlée sur le site SR1 tout au long de la construction. Pendant la construction, les données sur la qualité de l'air sont utilisées pour déterminer si des mesures supplémentaires d'atténuation des poussières sont nécessaires. Les mesures de réduction de la poussière comprennent la pulvérisation d'eau sur les chemins de halage et les routes en gravier ou l'utilisation d'un mélange approuvé de chlorure de calcium, selon le cas, pour limiter la consommation des ressources en eau.

### RESSOURCES EN EAU ET PROTECTION DES SOLS INDIGÈNES

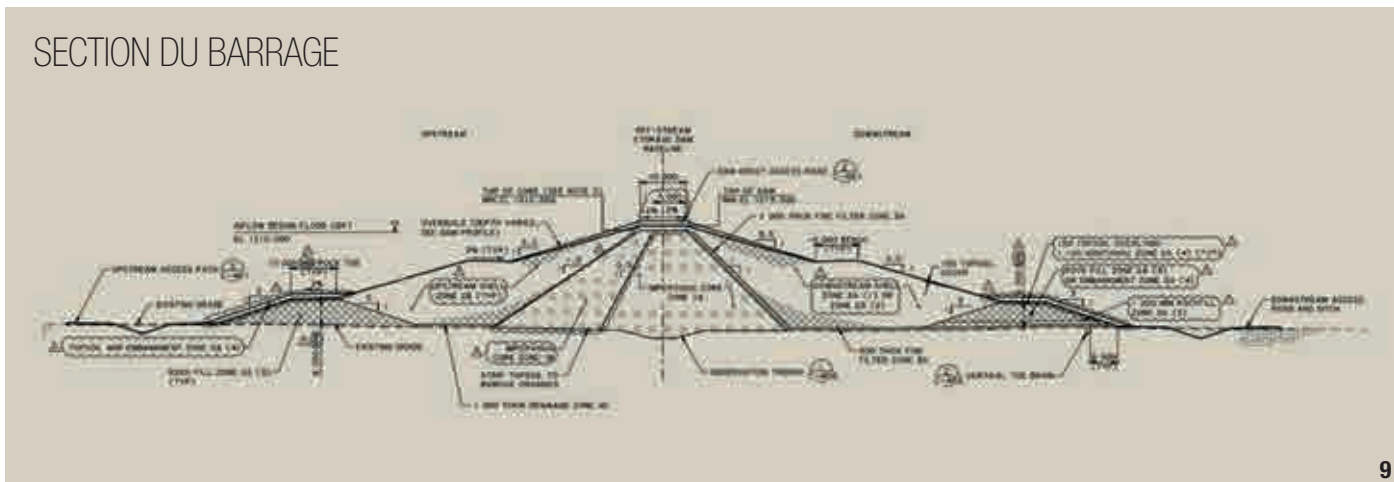
Avant la construction, les eaux de surface et les eaux souterraines ont été évaluées afin de comprendre l'impact potentiel de la construction et de l'exploitation du projet.



© VINCI CONSTRUCTION GEOINFRASTRUCTURE

8

## SECTION DU BARRAGE



9

© ALBERTA TRANSPORTATION AND ECONOMIC CORRIDORS



10

© VINCI CONSTRUCTION GEOINFRASTRUCTURE

Pour garantir la qualité des eaux, des clôtures anti-érosion ainsi qu'un réseau de fossés ont été mis en œuvre pour éloigner les eaux de surface des zones de constructions actives. Les eaux de ruissellement des zones de construction sont traitées à l'aide de clôtures anti-érosion, de pailles, de fossés et de bassins de sédimentation. Avant rejet vers le milieu naturel, l'eau est contrôlée pour s'assurer qu'elle est de la même qualité ou de meilleure qualité que la masse d'eau dans laquelle elle est rejetée (figure 14).

Une partie de l'eau de pluie ou de neige captée dans la zone de construction est utilisée pour faciliter la construction et les mesures d'atténuation, comme par exemple, le rabattement de la poussière, l'humidification des matériaux de terrassement et la fabrication de béton (figure 15).

L'ensemencement de la terre végétale décapée et remplacée est réalisé au fur et à mesure de l'avancement des travaux afin de minimiser les effets de l'érosion éolienne et pluviale.

### FAUNE ET VÉGÉTATION

Afin de diminuer les impacts du projet sur la faune et la flore, des mesures d'atténuation sont mises en place.

Des clôtures respectueuses de la faune sont ainsi installées le long du périmètre du projet, afin d'aider à maintenir les mouvements de la faune dans et hors de la zone du projet. En effet, les déplacements de la faune peuvent être perturbés pendant la construction en raison du bruit des activités

de construction. De plus, avant toute opération susceptible de perturber le sol tel que déboisement, décapage ou essouchage, une inspection de la faune est effectuée par un spécialiste, l'objectif étant de protéger la faune et de minimiser les impacts de ces opérations (figure 1).

### HABITAT ET FAUNE PISCICOLE

Le projet SR1 a été conçu pour permettre aux poissons de passer sans encombre par le déversoir de service de l'ouvrage de dérivation lorsque l'installation ne détourne pas d'eau.

Les travaux de construction évitent les périodes d'activité restreinte et les débits de la rivière Elbow sont maintenus pendant les travaux pour permettre le passage de la faune piscicole.

La rivière Elbow accueillant une espèce piscicole emblématique, l'omble à tête plate, les interventions de travaux sur celle-ci sont réalisées pour répondre aux exigences de Pêches et Océans



11

© VINCI CONSTRUCTION GEOINFRASTRUCTURE

- 9- Section du barrage.
- 10- Barrage en construction.
- 11- Ouvrage de décharge du réservoir.

- 9- Cross section of the dam.
- 10- Dam under construction.
- 11- Reservoir outlet works.



12



13

Canada (MPO). Ainsi, dans le cadre du calendrier de construction, la rivière Elbow a été temporairement détournée en septembre 2022 pour permettre la construction des structures permanentes de régulation et de dérivation du débit dans son ancien lit. Ce travail spécifique a été exécuté conformément à l'approbation de la Loi sur l'eau et comprenait un contrôle de la turbidité supervisé par un spécialiste qualifié de l'environnement aquatique, ainsi qu'une importante opération préventive de récupération des poissons. Cette opération a duré 10 jours et 640 poissons ont été capturés, identifiés, mesurés, pesés et relâchés en aval dans la rivière Elbow. Parmi les 640 poissons récupérés, une truite tauréau, une espèce protégée, a été rencontrée. La récupération des poissons a été suivie par un moniteur indigène.

### ENGAGEMENT DES POPULATIONS INDIGÈNES

L'engagement des populations indigènes est une des clés du succès de ce projet. La réalisation de ce projet n'est possible que par l'acceptation et la participation active des populations locales et tout particulièrement des "First nation". Cette intégration des

populations locales est maintenant un incontournable de la bonne réalisation de travaux.

### PARTICIPATION INDIGÈNE

Alberta Transportation and Economic Corridors (TEC) a élaboré un Plan de Participation Indigène afin d'encourager

et de soutenir les initiatives de participation indigène au projet. L'emploi, la formation et le renforcement des capacités des entreprises indigènes sont les principaux objectifs de ce plan. Par conséquent, une communication ouverte et directe se tient et se poursuit tout au long de la construction du projet



14

12- Pont du chemin 242.

13- Pont de la route 22.

14- Suivi de la qualité des eaux.

12- Path 242 bridge.

13- Highway 22 bridge.

14- Water quality control.

après de Vinci Construction Infrastructure Canada, qui est le principal point de contact pour les détenteurs de droits du projet et les parties prenantes indigènes intéressées par les possibilités de sous-traitance.

Alberta Transportation and Economic Corridors ainsi que Vinci Construction Infrastructure Canada se sont engagés à travailler avec les nations et les groupes indigènes. Avant la construction, les nations et groupes indigènes ont été consultés au sujet de la SR1 en tant que détenteurs de droits et principales parties prenantes.

Les principaux groupes et nations indigènes concernés sont les suivants :

- Premières nations du Traité 7 - Nation Tsuut'ina, Tribu des Blood/Kainai, Nation Piikani, Nation Siksika, Nation Stoney Nakoda composée des Premières nations Bears-paw, Chiniki et Good Stoney ;
- Nation Ermineskin Cree, Tribu Louis Bull, Première Nation Montana, Nation Samson Cree ;
- La Nation Métis de l'Alberta, région 3 et la Société Foothills Ojibway.

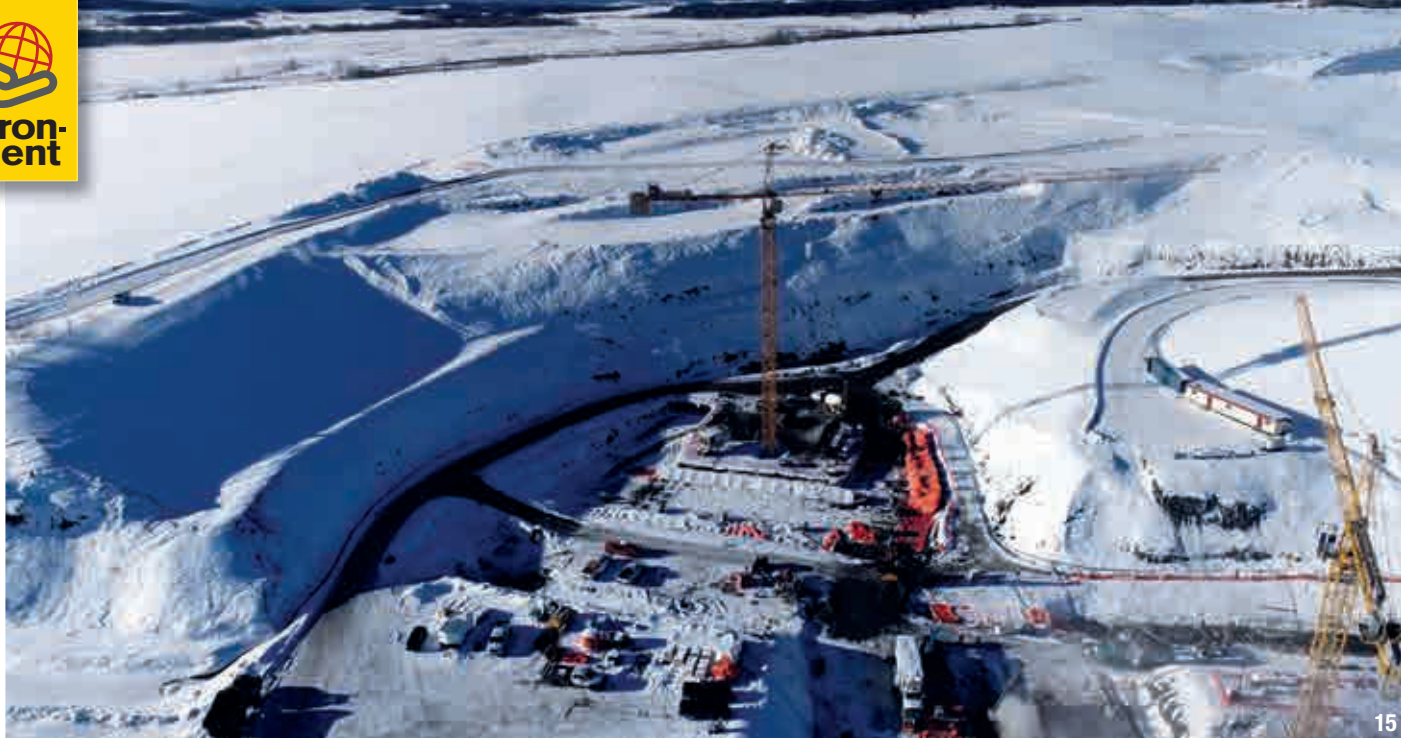
L'équipe du projet SR1 s'est engagée à établir et à maintenir des relations mutuellement respectueuses et significatives entre les nations et les groupes indigènes.

### PATRIMOINE ET ARCHÉOLOGIE

Comme l'exige l'Agence canadienne d'évaluation d'impact, l'équipe du projet s'appuie sur des moniteurs indigènes présents sur le site pendant la construction afin d'évaluer la mise en œuvre des exigences réglementaire en matière de découverte, y compris la gestion de l'archéologie et du patrimoine.

Tout élément susceptible de revêtir une importance historique ou culturelle identifié par les moniteurs indigènes ou par Vinci Construction Infrastructure Canada est évalué par un archéologue ▷





15

© CYRILLE DUPONT THE PULSES

et signalé au ministère de la culture de l'Alberta, conformément à la loi sur les ressources historiques (figure 16).

#### SENSIBILISATION CULTURELLE

Vinci Construction Infrastructure Canada propose des sessions de formation à la sensibilisation culturelle à l'ensemble du personnel du projet.

L'objectif étant de favoriser et de maintenir un environnement inclusif dans lequel l'ensemble des collaborateurs du projet comprennent, apprécient et respectent les différences de chacun, afin de créer une prise de conscience et une compréhension mutuelle. L'équipe SR1 souhaite permettre à l'ensemble des collaborateurs du projet de com-

**15- Structures sous la neige.**

**16- Paysages d'Alberta.**

**15- Structures under snow.**

**16- Alberta landscapes.**

prendre leur rôle individuel et collectif, et d'offrir les bases d'une compétence culturelle.

Ainsi Vinci Construction Infrastructure Canada organise périodiquement des prises de parole de la population indigène au sein de ses équipes et participe aux événements communautaires. □



16

© CYRILLE DUPONT THE PULSES

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**COÛT TOTAL DE L'OPÉRATION : 264 millions d'euros**

**DURÉE TOTALE DU CHANTIER : 3 ans (2022-2025)**

**DÉBLAIS POUR LE CANAL DE DÉCHARGE :**

**5 millions de m<sup>3</sup>, 4,7 km de long**

**REMBLAIS POUR LE BARRAGE DE STOCKAGE :**

**5,4 millions de m<sup>3</sup>, 29 m de haut**

**OUVRAGE DE DÉCHARGE : 70 000 m<sup>3</sup> de béton**

**ATTÉNUATION AU RISQUE D'INONDATION : 3<sup>e</sup> ville du Canada**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :**

**Alberta Transportation and Economic Corridors (TEC)**

**CONSULTANT DESIGNER : Stantec**

**ENTREPRISE GÉNÉRALE :**

**Vinci Infrastructure Canada, filiale de Vinci Construction**

### ABSTRACT

## SPRINGBANK SR1 - FLOOD STORAGE RESERVOIR IN CANADA

VALENTINE FOSSE, VINCI CONSTRUCTION GEOINFRASTRUCTURE - PASCAL INSENGA, VINCI CONSTRUCTION GEOINFRASTRUCTURE

Together with other flood attenuation projects undertaken by the Canadian province of Alberta, the Springbank Reservoir is a climate resilience project, designed specifically to reduce flood risks for the town of Calgary by controlling the flow rates and volumes of the Elbow River. The environmental ambition of this project is also to provide protection for the river, critical habitats, but also for fish and wildlife. It also includes very significant involvement of the indigenous peoples, the "First Nations", with the principal indigenous groups and nations taking part in the works. □

## SPRINGBANK SR1 - DEPÓSITO DE ALMACENAMIENTO DE CRECIDAS EN CANADÁ

VALENTINE FOSSE, VINCI CONSTRUCTION GEOINFRASTRUCTURE - PASCAL INSENGA, VINCI CONSTRUCTION GEOINFRASTRUCTURE

En colaboración con otros proyectos de atenuación de las inundaciones lanzados por la provincia de Alberta, en Canadá, el depósito de Springbank es un proyecto de resiliencia climática específicamente diseñado para reducir los riesgos de inundación de la ciudad de Calgary, gestionando los caudales y volúmenes del río Elbow. La ambición medioambiental de este proyecto se concreta asimismo en la protección del río y los hábitats esenciales, al igual que los peces y la fauna, al tiempo que incluye un amplísimo compromiso de las poblaciones indígenas, los First nation, mediante la participación en las obras de los principales grupos y naciones indígenas. □



**BTP BANQUE**

GRUPE CREDIT COOPERATIF

# C'est le métier qui parle

LA BANQUE PROFESSIONNELLE DU BTP

[www.btp-banque.fr](http://www.btp-banque.fr)



1  
© SETEC DIADÈS

# LES DISPOSITIONS ENVIRONNEMENTALES MISES EN ŒUVRE POUR LES TRAVAUX DE RÉPARATION DU VIPP 1381 SUR LE REYRAN - A8

AUTEURS : GUILLAUME PALAMINI, INGÉNIEUR D'ÉTUDES, SETEC DIADÈS - CHRISTOPHE CHANONIER, DIRECTEUR D'AGENCE, SETEC DIADÈS - LENAÏC ROUSSEL, INGÉNIEUR ENVIRONNEMENT, NATURALIA ENVIRONNEMENT

DANS UN MONDE CONFRONTÉ À DE PLUS EN PLUS DE DÉFIS ENVIRONNEMENTAUX, SOUS FORTES CONTRAINTES D'EXPLOITATION, LA PRÉSERVATION DES INFRASTRUCTURES EXISTANTES TOUT EN RÉDUISANT LEUR IMPACT SUR L'ÉCOSYSTÈME EST DEVENUE UN ENJEU MAJEUR. C'EST DANS CE CONTEXTE QUE S'INSCRIT LE PROJET DE RENFORCEMENT DU VIADUC DU REYRAN. CE CHANTIER, SOUS TRÈS FORTES CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES, ILLUSTRE LA CONVERGENCE POSSIBLE ET NÉCESSAIRE ENTRE LA PRÉSERVATION DE NOTRE PATRIMOINE ET LE RESPECT DE LA NATURE ET DE SON ENVIRONNEMENT.

## PRÉSENTATION D'UN OUVRAGE PARTICULIER

Le viaduc du Reyran est un ouvrage de type Viaduc Isostatique à Poutres Précontraintes (VIPP) à 3 travées qui porte l'autoroute A8 au Nord de Fréjus. Il est constitué de deux tabliers dis-joints réalisés au début des années 1960. En 1990, chacun des tabliers

d'origine a été élargi à l'aide de nouvelles poutres disposées côté voie lente de chaque tablier existant. L'ensemble "tablier d'origine - tablier d'élargissement" est solidarisé, au niveau des entretoises d'origine, par le biais d'entretoises précontraintes constituées de tubes métalliques. L'ouvrage d'origine repose verticalement sur des

1- Vue du cours d'eau du Reyran sous l'ouvrage.

1- View of the Reyran water-course under the viaduct.

corbeaux métalliques fixés à l'ouvrage d'élargissement.

L'ouvrage comprend donc deux tabliers distincts, soit un par sens de circulation. Chaque tablier est constitué de 3 travées ; deux travées de rive de 32,40 m de portée et une travée centrale de 41,25 m de portée, soit une longueur totale de 106,04 m (figures 1 et 2).



© SETEC DIADÈS

2

Les travées de rive de chaque tablier possèdent 4 poutres d'origine et 2 poutres d'élargissement alors que la travée centrale de chaque tablier se compose de 5 poutres d'origine et de 2 poutres d'élargissement. Chaque pile est fondée sur un massif de béton, commun aux 2 tabliers, surmontant les pieux de la fondation d'origine, qui a été cisailée lors de la rupture du barrage de Malpasset en 1959.

Il est à noter que les piles ont également été élargies pour supporter les poutres d'élargissement. Cet élargissement a été réalisé via l'utilisation de précontrainte additionnelle transversale extérieure.

## CONCEPTION DU RENFORCEMENT DE L'OUVRAGE

### CONTEXTE DU RENFORCEMENT

Le viaduc du Reyran fait partie de la génération des VIPP réalisés avant 1965, dont la technologie a montré quelques limites sur les points suivants :

- Mauvaise injection, voire absence d'injection, dans certains conduits de précontrainte ;
- Utilisation d'aciers de précontrainte sensibles à la fissuration sous contrainte ;

### 2- Vue de dessous de l'ouvrage.

### 3- Zone périphérique des travaux.

### 2- View of the structure underside.

### 3- Peripheral area around the works.

- Insuffisance d'étriers verticaux aux abouts des poutres dans les zones d'effort tranchant ;
  - Faible pourcentage d'armatures passives longitudinales ;
  - Manque de ductilité structurelle.
- C'est dans ce contexte que Setec Diadès a été missionné par Vinci Autoroutes pour réaliser la maîtrise d'œuvre études et travaux de renforcement de cet ouvrage.

### MODÉLISATION ET RECALCUL DE L'OUVRAGE

Les modèles de calculs ont été élaborés avec le logiciel Pythagore développé par le groupe Setec.

Dans la réalisation des modèles, les différentes phases ont été prises en compte avec un phasage précis des différentes étapes importantes de la vie de l'ouvrage.

Le recalcul effectué à la suite de la modélisation a mis en évidence un déficit de résistance à l'effort tranchant au niveau du hourdis et des poutres de l'ouvrage d'origine qui est notamment dû à une insuffisance de ferrailage. Cette faiblesse de ferrailage, identifiée sur les plans d'exécution, a également été corrélée lors de campagnes de relevés par radar du ferrailage existant.

La société Escota a donc décidé de renforcer les poutres de l'ouvrage à l'effort tranchant via la pose de bandes composites. Les abouts des poutres sont également renforcés pour satisfaire aux vérifications et exigences des bielles d'abouts et aux effets de coin, phénomènes également mésestimés à l'époque de construction du viaduc.



3

© L. ROUSSEL - NATURALIA ENVIRONNEMENT

Sur la base du modèle de calcul calibré à l'issue des essais de chargement avant travaux, la précontrainte additionnelle a été dimensionnée pour respecter les exigences des Eurocodes mais également en fonction de l'état résiduel de l'ouvrage.

## DE FORTS ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX

### CARACTÉRISATION ÉCO-PAYSAGÈRES

Le projet s'inscrit dans la Basse Provence siliceuse, au carrefour des massifs du Tanneron, de l'Estérel et de la Colle du Rouet. Les pentes boisées de la forêt de Bagnols dominent l'autoroute au nord alors que le massif de l'Estérel s'étend au sud et à l'est.

Le paysage rencontré est à forte composante naturelle, marqué par de vastes forêts méditerranéennes à chênes verts, chênes lièges et chênes pubescents, mais également des pinèdes à Pin maritime et Pin d'Alep ou encore des maquis fleuris à Bruyères arborescentes et divers Cistes. Si l'Autoroute A8 constitue ici une césure évidente au sein de ce paysage, le secteur reste toutefois globalement à l'écart des poches d'urbanisation.

L'ouvrage autoroutier traverse le Reyran, ruisseau à régime torrentiel de moins de 25 km de long qui prend sa source à Bagnols-en-Forêt pour rejoindre l'Argens à son embouchure. Fortement chenalisé dans sa partie aval, il conserve dans sa partie amont une bonne intégrité écologique. Ses berges sont occupées par une ripisylve à Peuplier blanc en bon état de conservation général et qui participe aux fonctionnalités écologiques locales. En effet, comme le souligne le Document d'objectifs du site Natura 2000 "L'Estérel", le Reyran (et sa ripisylve) assure une double fonctionnalité :

- Un vaste corridor fonctionnel pour les espèces mobiles (chiroptères, oiseaux) qui relie les vallées du lac de Saint-Cassien à celle de l'Argens ;
- Un corridor local pour d'autres espèces du site aux capacités de déplacement plus limitées (entomofaune, tortues, ...).

### PÉRIMÈTRES À STATUT

Le site projet est localisé au sein ou en limite de plusieurs périmètres d'inventaire ou de protection contractuelle témoignant de la richesse écologique dans lequel il s'inscrit. Certains d'entre eux ont conditionné l'obtention d'autorisations réglementaires préalables



4- Illustrations des zones favorables prospectées avec le joint de dilatation en haut à gauche, un drain (ou gargouille) en haut à droite et l'une des corniches en bas.

5- Murin de Bechstein.

4- Illustrations of favourable areas prospected with the expansion joint at the top left, a drain (or spout) at the top right and one of the parapets below.

5- Bechstein's bat.

### UN DIAGNOSTIC ÉCOLOGIQUE ADAPTÉ

Dans le cadre de l'évaluation appropriée des incidences Natura 2000, un diagnostic écologique sur quatre saisons a été réalisé à la demande de la maîtrise d'ouvrage.

Une phase préliminaire de travail a été menée en 2016 avec la réalisation d'un pré-diagnostic écologique. Cette analyse a permis d'évaluer les sensibilités écologiques potentielles associées à l'ouvrage et de définir les organisations méthodologiques adéquates afin de caractériser les enjeux écologiques en présence. Les travaux envisagés étant restreints à l'ouvrage d'art et sans débordement sur les milieux naturels environnants, les prospections se sont concentrées sur les enjeux écologiques potentiels associés à l'ouvrage et ses

aux travaux. En effet, au regard de la présence du périmètre contractuel (FR9301628 - "L'Estérel") et selon la liste départementale des projets soumis à évaluation Natura 2000, les "travaux d'entretien, de réparation ou de renforcement de la structure des ponts et viaducs hors entretien courant" sont

soumis à évaluation des incidences Natura 2000.

Aussi, l'expertise écologique réalisée dans le cadre du projet s'inscrit donc dans une démarche volontaire du maître d'ouvrage, conscient des enjeux écologiques et de la réglementation visant les espèces protégées (figure 3).



abords immédiats à savoir l'avifaune nicheuse et les chiroptères (chauves-souris).

L'inventaire de la chiroptérofaune a nécessité l'utilisation répétée d'une passerelle négative afin de permettre aux écologues d'inspecter la partie inférieure de l'ouvrage. Les éléments les plus attractifs pour la chiroptérofaune (joints de dilatation, corniches, gargouilles et autres drains) ont ainsi été investigués de manière exhaustive. L'ensemble des périodes clés du cycle biologique des chauves-souris a été diagnostiqué notamment le printemps (migration - transit), la période esti-

**6- Répartition des chiroptères au sein de l'ouvrage du Reyran (individu ou trace de fréquentation).**

**7- Résultats des prospections avifaunistiques.**

**6- Distribution of bats in the Reyran viaduct (individual or trace of occupancy).**

**7- Results of bird-life prospecting.**

vale (mise-bas - développement des jeunes), le transit automnal et enfin la période hivernale (figure 4).

Concernant l'avifaune, les inventaires ont principalement concerné les périodes de nidification (printemps - été) et d'hivernage. Leur objectif consistait à déterminer la diversité spécifique nicheuse dans l'ouvrage autoroutier et à la recenser (nombre de nids occupés). À l'issue de ce diagnostic quatre saisons, la localisation, le statut biologique et le dénombrement de chaque espèce patrimoniale et/ou protégée ont pu être réalisés afin d'évaluer au mieux leur niveau d'enjeu local.

**DES ENJEUX ÉCOLOGIQUES REMARQUABLES AU SEIN DE L'OUVRAGE**

Par effet d'opportunisme, l'ouvrage avec ses caractéristiques justifie d'un attrait écologique certain.

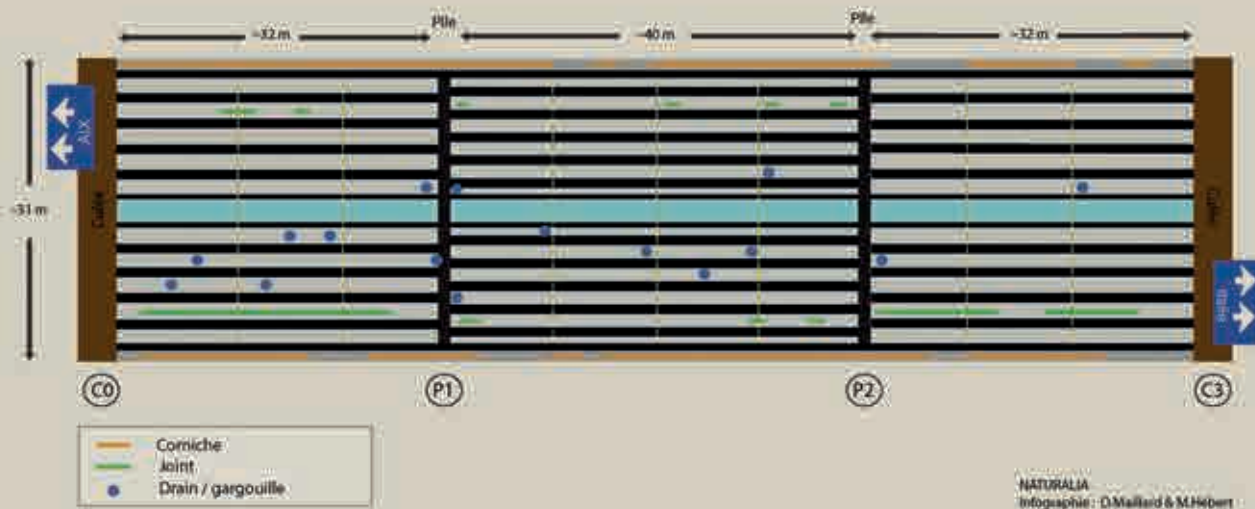
Un peuplement chiroptérologique varié et abondant occupe le viaduc à toutes les périodes de l'année.

Les joints de dilatation, corniches et divers drains offrent ainsi des conditions favorables au gîte de plusieurs espèces de chauves-souris.

Les niveaux d'occupation de l'ouvrage varient au gré des saisons et des espèces.

RÉPARTITION DES CHIROPTÈRES AU SEIN DE L'OUVRAGE DU REYRAN

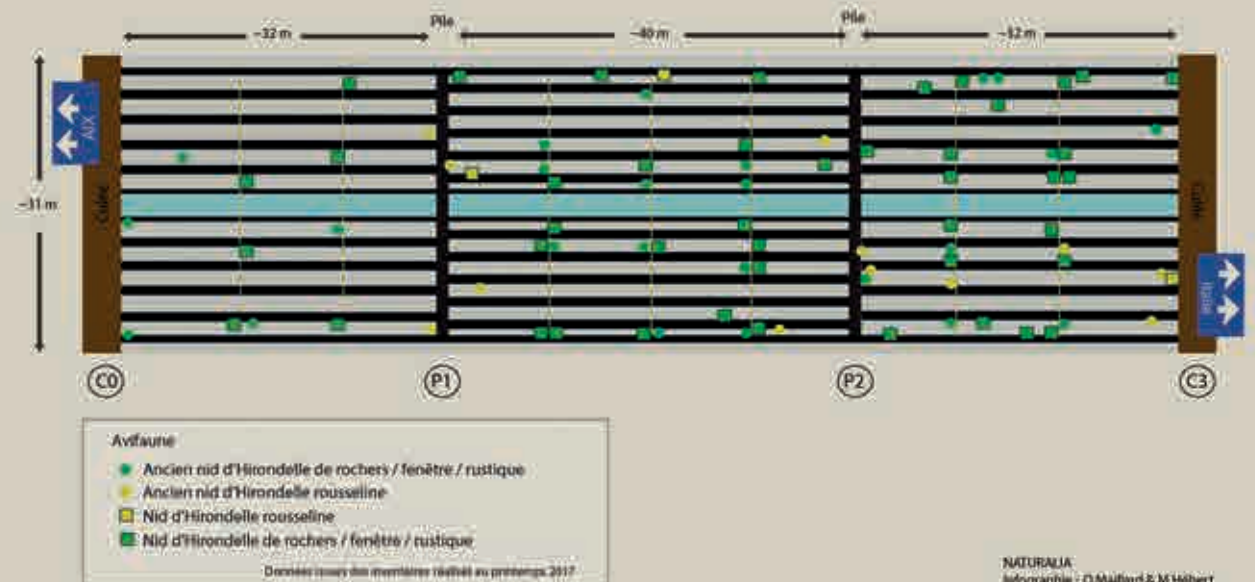
Individu ou trace de fréquentation



NATURALIA  
Infographie : D.Maillard & M.Hébert

6

RÉSULTATS DES PROSPECTIONS AVIFAUNISTIQUES



NATURALIA  
Infographie : D.Maillard & M.Hébert

7

En période hivernale, la fréquentation de l'ouvrage paraît modeste avec 2 espèces recensées pour 21 individus durant la période d'inventaires.

Au cours des autres saisons, l'activité chiroptérologique devient plus significative avec des effectifs oscillant entre 120 et 292 individus toutes espèces confondues (maximum atteint en mai 2017). Durant la période 2016-2017, 8 espèces de chauves-souris ont été contactées dont 2 à fort enjeu de conservation : le Petit Murin et le Murin de Bechstein. La présence de cette dernière est particulièrement remarquable et constitue seulement la cinquième colonie connue en région PACA. Un comptage simultané des effectifs de présence au sein du viaduc avec une colonie voisine située près du barrage de Malpasset a permis de recenser 170 individus, dont près de la moitié, dans l'ouvrage autoroutier. Par ses effectifs, cette population justifie d'une priorité de conservation à l'échelle nationale.

D'autres espèces de chauves-souris occupent également l'ouvrage durant les périodes de reproduction ou de mise-bas. Il s'agit du Murin de Daubenton et du Petit Murin. Plusieurs espèces de pipistrelles (dont la Pipistrelle de Kuhl) s'y reproduisent potentiellement bien qu'aucun nouveau-né n'ait été observé durant la période d'inventaires (figures 5 et 6).

À ces enjeux chiroptérologiques remarquables s'ajoute la reproduction de plusieurs espèces d'oiseaux dont l'une dispose d'un état de conservation nationale défavorable. L'Hirondelle rousseline est une espèce considérée en catégorie "Vulnérable" dans la Liste Rouge Nationale IUCN au regard de la précarité de sa population française. Son bastion populationnel national se situe dans le quart Sud-Est de la France (38-45 couples dans le département du Var) avec une part significative des nids installés sur des structures artificielles (viaduc, buse, passage agricole ...). Sur le viaduc autoroutier du Reyran, 1 à 3 couples se sont reproduits durant la période considérée. Autre espèce nicheuse, l'Hirondelle de rochers est plus représentée avec près d'une cinquantaine de nids (anciens et récents) observés. Les nids sont localisés indifféremment sur l'ensemble de l'ouvrage, tant sur le tablier qu'au niveau des piles. Une reproduction annuelle est constatée avec entre 5 et 10 couples selon les années. Sa présence est également avérée en période hivernale dans des effectifs modestes (figure 7).



8a © SETEC DIADES



8b © SETEC DIADES

### LES PRINCIPAUX TYPES D'IMPACTS ATTENDUS

L'analyse croisée du projet et de ses caractéristiques (durée, emprises, modes opératoires, ...) avec les enjeux écologiques identifiés définissent les impacts prédictifs. Dans le cas présent, quatre grands types d'impacts ont été qualifiés :

→ Destruction d'habitats, d'écosystèmes, d'espèces animales et végétales dans les zones de dépôt

#### 8- Dispositif anti-retour pour les chiroptères.

#### 9- Vue de l'échafaudage sur le tablier Sud.

#### 8- Non-return device for bats.

#### 9- View of scaffolding on the South deck.

des matériaux ou de stockage des déchets nécessaires à la réalisation du chantier ;

- Dérangement de la faune (nuisances sonores et/ou visuelles générées par les travaux) ;
- Altération d'habitats en cas de pollution accidentelle (en particulier dans le ruisseau du Reyran) ;
- Risque d'incendie, lié notamment à la présence d'engins de chantier.



9 © SETEC DIADES

10- Zone d'encollage des bandes composites avec chauffage d'appoint.

11- Protection et identification des nids d'hirondelles sous l'ouvrage.

12- Calepinage des bandes composites en fonction des nids d'hirondelles rousselines.

10- Zone of composite strip bonding with auxiliary heater.

11- Protection and identification of swallow nests under the viaduct.

12- Layout drawing of composite strips according to red-rumped swallow nests.



© SETEC DIADÈS

### DES MESURES ADAPTÉES AUX ENJEUX ET À LA RÉALITÉ CHANTIER

Le maître d'ouvrage a choisi de se faire accompagner par le cabinet d'études en écologie Naturalia Environnement afin d'assurer une mission de coordination environnementale de chantier. La présence régulière du coordinateur environnemental en phase préparatoire d'études, en lien étroit avec la maîtrise d'œuvre et, durant toute la phase travaux, en lien

avec l'entreprise et la maîtrise d'œuvre, assure une prise en compte optimale des enjeux écologiques pré-identifiés, afin de réduire autant que possible les effets des travaux sur les espèces, grâce notamment à une réactivité et une adaptation permanente aux contraintes opérationnelles du chantier. Les engagements réglementaires pris par le maître d'ouvrage concernent en premier lieu le respect d'un calendrier travaux adapté aux sensibilités

écologiques et tout particulièrement l'avifaune et la chiroptérofaune présentes. Il a ainsi été prévu d'effectuer les travaux sur deux années, en n'intervenant que sur les périodes automnales et hivernales soit d'octobre à fin mars. Cette période a été identifiée comme de moindre sensibilité, bien que plusieurs espèces de pipistrelles et le Molosse de Cestoni y ont été contactées en hibernation dans l'ouvrage. Afin de limiter les impacts vis-à-vis de ces enjeux, un dispositif a été installé au démarrage du chantier par la Coordination environnementale de Chantier afin de contraindre l'accès des corniches, gargouilles et drains par les chiroptères et ainsi réduire autant que possible le risque de destruction d'individus. En phase de contrôle préalable aux activités de chantier, en cas de présence d'un individu, un dispositif anti-retour est installé pour permettre sa sortie et empêcher une réoccupation de l'ouvrage pendant la durée des travaux (figure 8). Les tabliers Nord et Sud ont été traités l'un après l'autre afin de toujours conserver une partie des habitats disponibles pour l'hibernation des chauves-souris. Lors des deux années de travaux, les deux tabliers (Nord et Sud) ont été restitués en intégralité aux oiseaux et chiroptères pour permettre les activités de mise-bas des chiroptères et de nidification des oiseaux. En début et en fin des deux phases travaux, l'échafaudage prévu dans l'organisation chantier a été mis à disposition des experts écologues afin d'installer puis de retirer les dispositifs prévus pour contraindre temporairement l'accès aux gîtes par les chiroptères. Concernant l'avifaune nicheuse, le risque de désertion de l'ouvrage à l'issue des travaux a motivé la mise en œuvre de mesures de préservation des nids présents sous l'ouvrage d'art. Au démarrage du chantier, un constat contradictoire a été réalisé en présence du maître d'œuvre, du groupement d'entreprises et de la Coordination environnementale de chantier afin de repérer les nids et de codéfinir les solutions à mettre en œuvre au cas par cas pour les protéger.

### RÉALISATION DES PRINCIPAUX TRAVAUX ÉCHAFAUDAGE

Dans le contexte environnemental du projet, le choix du type et de l'implantation de l'échafaudage est essentiel. Afin de limiter les démarches administratives, notamment celles liées aux contraintes environnementales du site et compte tenu de l'objectif des travaux, ▷

© SETEC DIADÈS



© SETEC DIADÈS



© SETEC DIADÈS





13

© SETEC DIADES

la mise en place d'un échafaudage partiellement suspendu (accès des échafaudages en pied de pile) est apparue comme étant la meilleure solution. En outre, un platelage d'échafaudage étanche avec des bâches thermosoudées a été mis en place afin de protéger de toute pollution accidentelle le lit du Reyran situé en contrebas (figure 9). Lors des opérations spécifiques telles que l'encollage des bandes de matériaux composites ou l'injection des gaines de précontraintes, des bâches supplémentaires ont été installées sur le platelage dans les zones concernées pour renforcer la protection.

### MISE EN PLACE DU RENFORT COMPOSITE

Afin de préparer le support, l'ensemble des zones de renforcement de l'ouvrage a été sablé afin d'éliminer toutes les parties non adhérentes et dans le but de créer une rugosité propice à une bonne adhérence du renforcement. Lors de ce sablage, des panneaux de protection ont été installés en rives des tabliers afin de contenir les poussières et déchets créés par le sablage et donc d'éviter le rejet dans l'environnement. Conformément aux règles d'application de l'avis tech-

nique du matériau composite employé, des congés en mortier hydraulique ont été réalisés pour respecter le rayon admissible suivi par le tissu. Les bandes de tissu, plus fortement sollicitées à l'effort tranchant, proches des zones d'appui et des câbles extradossés, ont été ancrées à leurs extrémités par des mèches scellées dans le hourdis. Lors de la pose des bandes composites, un contrôle a été systématique-

**13- Aire de préfabrication des blochets.**

**14a- Déviateurs métalliques.**

**13- Block precasting area.**

**14a- Steel deviators.**

ment effectué afin de s'assurer que la température du support est supérieure de 3°C à celle du point de rosée. Compte tenu de la période hivernale de réalisation des travaux imposée par les contraintes environnementales et afin de pallier ce problème de température, un chauffage des zones concernées par la pose de bandes composites a été mis en place sur l'échafaudage.

Le tissu, avant sa pose, a été imprégné à l'aide d'une encolleuse qui permet de garantir l'imprégnation des fibres par la résine sur la totalité de la surface de la bande imprégnée (figure 10).

Il est important de souligner qu'un calepinage précis des nids a été réalisé et intégré dans les études d'exécution afin de positionner au mieux les lés de composites prévus dans le cadre du renforcement de l'ouvrage. Des dispositifs complémentaires (signalisation par rubalise et protection par bâche plastique) ont été également installés afin d'assurer la visualisation des nids et leur protection physique lors des phases critiques de travaux et notamment les projections de poussière et/ou résine. Ponctuellement, des difficultés de pose des bandes composites en hourdis ont imposé la mise en place



14a

© SETEC DIADES

de solutions alternatives : pose de deux bandes composites de part et d'autre du nid ou mise en place de deux couches sur les bandes adjacentes (figures 11 et 12).

### PRÉCONTRAÎTE ADDITIONNELLE

Le groupement d'entreprises a proposé de préfabriquer les blochets d'ancrages à proximité de l'ouvrage sur une aire de préfabrication foraine prévue à cet effet. Ce choix, validé par l'ensemble des protagonistes du projet, avait pour objectif premier de limiter le risque de pollution relatif aux possibles fuites de laitance au-dessus du lit du Reyran, notamment avec le nombre important de blochets à réaliser.

Cette solution présentait également les avantages techniques suivants :

- Simplifier la réalisation du ferrailage et du coffrage des blochets ;
- Faciliter le coulage des blochets (pas de pompage).

Une importante préparation a dû être organisée pour implanter les blochets en tenant compte des dimensions réelles des poutres et du positionnement des câbles de précontrainte présents dans les poutres. En effet, chaque blochet est unique : le positionnement de son ancrage dépend de ces éléments. Un contrôle radar a permis de repérer les aciers actifs et passifs ainsi que les gaines existantes afin d'adapter l'implantation et la réalisation des carottages nécessaires au passage des barres de précontrainte pour la fixation des blochets (figure 13).

La réalisation des blochets s'est déroulée pendant la période la plus froide de l'année, ce qui a contraint le groupement d'entreprises et le maître d'œuvre à être vigilants vis-à-vis des températures pendant le coulage et la



14b  
© SETEC DIADÈS

**14b- Vérins de mise en tension des câbles de précontrainte.**

**14b- Prestressing cable tensioning jacks.**

montée en résistance du béton. Afin de réguler la température, des coffrages calorifugés, chauffés et munis d'un thermostat ont ainsi été mis en place. Un enregistrement des températures, notamment la nuit, a permis de s'assurer des bonnes conditions de prise du béton au jeune âge.

Les blochets ont été acheminés à leur position définitive à l'aide de palans ancrés au niveau du hourdis de l'ouvrage.

D'un point de vue environnemental, la phase critique concernait l'injection du coulis dans les gaines de précontrainte, qui a nécessité un plan de contrôle particulier au niveau des points singuliers (manchons, tromplaques, ...) ainsi qu'une protection préventive supplémentaire sur le platelage de l'ouvrage. En outre, le mélangeur ainsi que la pompe d'injection ont été positionnés spécifiquement en pied de pile dans une zone protégée et éloignée du lit du Reyran pour limiter les risques de pollution accidentelle (figure 14).

### CONCLUSIONS

Les travaux réalisés dans ce milieu soumis à de fortes contraintes environnementales démontrent l'impératif croissant à concilier la maintenance du patrimoine avec la préservation de l'écosystème.

Sous l'impulsion de la maîtrise d'ouvrage, la mise en place de mesures compensatoires, prévues dès la phase d'études, vérifiées lors de l'appel d'offres et suivies sur chantier par la MOE Travaux et le coordonnateur environnement, a été une réussite. Cette organisation témoigne de la capacité à s'adapter et à trouver des solutions dans des environnements soumis à des contraintes environnementales strictes, y compris sous forte contrainte technique et d'exploitation.

Ces travaux rappellent que la recherche d'un équilibre entre la maintenance des ouvrages et la protection de l'environnement est un impératif, au-delà des aspects réglementaires, qui doit guider les actions futures. □

### PRINCIPALES QUANTITÉS

- 30 déviateurs métalliques
- 1 160 m de gaine PEHD
- 5800 m de torons TGG - soit environ 7 t
- 60 tromplaques + blocs d'ancrage + capots de protection
- 4 t de coulis
- Environ 30 nids d'hirondelles protégés durant les travaux

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Vinci Autoroutes - Escota

**MAÎTRE D'ŒUVRE :** Setec Diadès

**COORDONNATEUR ENVIRONNEMENT :** Naturalia Environnement

**ENTREPRISES :** Freyssinet Sud-Est / Gtm Sud / Cireme / Eurovia

**CONTRÔLE EXTÉRIEUR :** Cerema

### ABSTRACT

#### ENVIRONMENTAL MEASURES FOR REPAIR WORK ON VIPP 1381 OVER THE REYRAN - A8

GUILLAUME PALAMINI, SETEC DIADÈS - CHRISTOPHE CHANONIER, SETEC DIADÈS - LENAÏC ROUSSEL, NATURALIA ENVIRONNEMENT

**The Reyran viaduct** is a 3-span structure of the viaduct with independent prestressed beam spans ("VIPP") type carrying the A8 motorway, near Fréjus in the Var region of France. It consists of two separate decks constructed in the early 1960s. In 1990, each of the original decks was widened with new beams placed on the slow lane side of each existing deck. In addition to special requirements inherent in keeping the motorway in operation during the works, this complex strengthening project was carried out under very substantial environmental constraints on a structure located in a Natura 2000 area which is a home to protected species such as bats and swallows. □

#### LAS DISPOSICIONES MEDIOAMBIENTALES APLICADAS EN LAS OBRAS DE REPARACIÓN DEL VIPP 1381 EN EL REYRAN - A8

GUILLAUME PALAMINI, SETEC DIADÈS - CHRISTOPHE CHANONIER, SETEC DIADÈS - LENAÏC ROUSSEL, NATURALIA ENVIRONNEMENT

**El viaducto del Reyran** es una construcción de tipo Viaducto Independiente con Vigas Pretensadas (VIPP, por sus siglas en francés) con tres luces, por el que discurre la autopista A8 cerca de Fréjus dans le Var (dpto. 83). Está formado por dos tableros separados, realizados a principios de los años 1960. En 1990, los dos tableros originales se ensancharon mediante nuevas vigas dispuestas del lado de la vía lenta de cada tablero existente. Además de las especificidades inherentes a la explotación de la autopista, mantenida durante las obras, la compleja operación de refuerzo ha estado sujeta a unas restricciones medioambientales muy severas, dada su ubicación en una zona Natura 2000 que alberga especies protegidas, como quirópteros o golondrinas. □

# TRÉSORS DE NOS ARCHIVES

RECHERCHE D'ARCHIVES PAR MICHEL MORGENTHALER

TRAVAUX N° 758 - NOVEMBRE 1999



Ce numéro 758 de novembre 1999 est l'un des premiers de la revue Travaux dont le thème affiché est "Environnement", thème qui deviendra récurrent. Le concept et le mot "environnement" trouveraient leur origine dans les années 70. Dans le domaine des travaux publics, Bachy puis Soletanche Bachy s'inscrivent parmi les précurseurs des dispositifs pour le traitement in situ des nappes d'eau polluées. Ces dispositifs sont basés sur des tranchées excavées selon la technique des parois moulées. Ce sont en général des barrières de confinement, donc étanches, comportant des "portes" filtrantes par lesquelles s'écoule le flux pollué qui en ressort après que les éléments polluants y ont été piégés par divers procédés. Les premières études datent du début des années 90 et les premières applications sur sites pollués de la deuxième moitié des années 90. L'article brosse un panorama des procédés dits de "barrière active" utilisés, comprenant ceux qui ont marqué le franchissement d'un seuil technologique, basés sur un traitement par des produits Rhodia ATE qui détruisent les solvants chlorés et les produits halogénés au sein des portes mêmes. On recourt aussi, lorsque c'est pertinent, à des traitements passifs par les charbons actifs, les résines et les zéolites. On imagine bien que les cas de pollution et leur configuration sont variables et qu'une solu-

tion doit être adaptée à chaque situation. La paroi moulée qui permet d'atteindre toute profondeur, associée à une ingénierie chimique novatrice et à la capacité de l'entreprise à équiper des panneaux de paroi intégrant des dispositifs complexes, a permis la mise sur le marché de procédés innovants et performants, parfois combinés. La recherche de la fiabilité associée à un faible coût d'entretien est un objectif qui a été atteint dans la plupart des solutions mises en œuvre. Le procédé a été récompensé en 1997 par le Prix de l'Innovation de la Fédération Nationale des Travaux Publics. Comme tout procédé d'avant-garde, il a acquis sa renommée à l'épreuve des faits, tout en élargissant son spectre d'application. Par exemple, en 2014, la réalisation d'une barrière perméable réactive a été menée par Sol Environnement, devenu Remea, sur un site en activité d'équipement automobile. Des concentrations élevées de chrome hexavalent et de solvants chlorés (PCE, TCE) ont été observées dans les eaux souterraines. La solution a consisté à traiter la panache à l'aval en limite du site au moyen d'une barrière perméable réactive mettant en œuvre du fer zéro-valent pour la dégradation réductive des chlorés et du chrome. La technique poursuit actuellement son extension vers les éléments chimiques de la famille des substances per- et polyfluoroalkylés. □

## ABSTRACT

### TREASURES FROM OUR ARCHIVES: BARRIERS AND ACTIVE CONFINEMENTS: A PROMISING CONCEPT EXAMPLES OF APPLICATION TO POLLUTION BY HEAVY PETROLEUM PRODUCTS AND CHLORINATED SOLVENTS

TRAVAUX No. 758 - NOVEMBER 1999

J.-J. KACHRILLO - R. LAGARDE - H. STEIGER - T. VOGEL - P. ROUDIER

This issue 758 of November 1999 is one of the first Travaux review issues on the stated theme of the "Environment", which was to become a recurring theme. The concept and the French word "environment" originated in the 1970s. In the field of public works, Bachy and then Soletanche Bachy were among the pioneers with systems for the in-situ treatment of polluted groundwater. These systems are based on trenches excavated by the diaphragm wall technique. They are generally confinement barriers, hence watertight, incorporating filtering "gates" through which the polluted flow is drained out after the pollutants have been trapped there by various processes. The initial studies date from the early 1990s and the first applications on polluted sites date from the second half of the 1990s. The article presents an overview of the so-called "active barrier" processes used, including those characterised by a technological breakthrough, based on treatment by Rhodia ATE products which destroy the chlorinated solvents and halogenated products in the gates themselves. Where appropriate, passive treatments by activated carbons, resins and zeolites are also used. It is easy to imagine that pollution cases and configurations are variable and that a solution must be adapted to each situation. The diaphragm wall which can reach any depth, combined with innovative chemical engineering and the contractor's ability to fit wall panels incorporating complex devices, has made it possible to place on the market innovative high-performance processes, sometimes in combination. The goal of reliability together with low maintenance costs has been achieved in most of the solutions implemented. In 1997 the process was awarded the Innovation Prize of the "Fédération Nationale des Travaux Publics" (French Public Works Federation). Like any advanced process, it has acquired its reputation through trial and testing, while expanding its range of application. In 2014, for example, a reactive permeable barrier was produced by Sol Environnement, now called Remea, on an automotive equipment site in service. High concentrations of hexavalent chromium and chlorinated solvents (PCE, TCE) were detected in groundwater. The solution was to treat the plume downstream on the site boundary by means of a reactive permeable barrier employing zero-valent iron for reductive degradation of the chlorinated compounds and chromium. The technique is currently being extended to the chemical elements of the family of per- and polyfluoroalkyl substances. □

### TESOROS DE NUESTROS ARCHIVOS: BARRERAS Y CONFINAMIENTO ACTIVOS: UN CONCEPTO PROMETEDOR EJEMPLOS DE APLICACIÓN CONTRA LAS CONTAMINACIONES POR HIDROCARBUROS PESADOS Y DISOLVENTES CLORADOS

TRAVAUX N°758 - NOVIEMBRE DE 1999

J.-J. KACHRILLO - R. LAGARDE - H. STEIGER - T. VOGEL - P. ROUDIER

Este número 758 de noviembre de 1999 es uno de los primeros de la revista Travaux en abordar explícitamente la cuestión del medio ambiente, temática que se convertiría en recurrente. El concepto y el término «medio ambiente» encuentran su origen en los años 70. En el ámbito de las obras públicas, Bachy, y seguidamente Soletanche Bachy, figuran entre los precursores de los dispositivos de tratamiento in situ de las capas freáticas contaminadas. Estos dispositivos se asientan en zanjas excavadas según la técnica de las pantallas de hormigón. En general, se trata de barreras de confinamiento, por tanto estancas, que disponen de «puertas» filtrantes por las que discurre el flujo residual resultante de la captura de los elementos contaminantes mediante distintos procedimientos. Los primeros estudios datan de comienzos de los años 90 y las primeras aplicaciones en emplazamientos contaminados, de la segunda mitad de esa misma década. El artículo esboza un panorama de los procedimientos llamados «de barrera activa» utilizados, algunos de los cuales marcaron la superación de un umbral tecnológico, basados en un tratamiento con productos Rhodia ATE, que destruyen los disolventes clorados y los productos halogenados dentro de las propias puertas. Cuando resulta pertinente, también se recurre a tratamientos pasivos mediante carbonos activos, resinas y zeolitas. Lógicamente, los casos de contaminación y su configuración son variables, de manera que las soluciones deben adaptarse a cada situación. La pantalla de hormigón, que permite llegar a cualquier profundidad, asociada a una innovadora ingeniería química y a la capacidad de la empresa para equipar paneles de pantalla provistos de dispositivos complejos, ha permitido la comercialización de procedimientos innovadores y eficaces, que en ocasiones se emplean de forma combinada. La mayoría de soluciones aplicadas responden al objetivo de fiabilidad con un bajo coste de mantenimiento. En 1997, el procedimiento fue galardonado con el Premio a la Innovación de la Federación Nacional francesa de Obras Públicas. Como cualquier procedimiento vanguardista, ha ido adquiriendo fama a prueba de éxitos, ampliando a la vez su espectro de aplicación. Por ejemplo, en 2014, Sol Environnement, que posteriormente se convertiría en Remea, instaló una barrera permeable reactiva en una fábrica de equipamientos para el automóvil en actividad. Se habían detectado elevadas concentraciones de cromo hexavalente y disolventes clorados (PCE, TCE) en las aguas subterráneas. La solución consistió en tratar el penacho ya formado en el límite del emplazamiento mediante una barrera permeable reactiva, utilizando hierro cerovalente para la degradación reductiva de los clorados y el cromo. Actualmente, esta técnica sigue ampliándose a los elementos químicos de la familia de los per- y polifluoroalquilos. □

# Barrières et confinements actifs : un concept prometteur

## Exemples d'application aux pollutions par hydrocarbures lourds et solvants chlorés

La combinaison des procédés panneau-drain et de procédés de rétention comme l'Ecosol les résines ou les charbons actifs ou de traitement comme le procédé Keops permet de proposer le concept de barrière ou confinement actif, une solution originale et économique pour le traitement *in situ* des pollutions industrielles de nappe phréatique. Associée à une instrumentation du site, cette méthode permet d'isoler le site pollué de son environnement et de traiter en douceur et à coût réduit la pollution de la nappe.

La réhabilitation des sites pollués et leur traitement constitue un problème complexe où chaque cas est particulier. De nombreuses solutions sont proposées : confinement, traitement biologique, lavage, stabilisation, traitement électrochimique... La multiplicité des paramètres à prendre en compte fait qu'en effet, les solutions sont multiples mais en général peu reproductibles d'un site à l'autre.

Solétanche-Bachy a développé plusieurs techniques dans ce domaine et c'est l'association de deux d'entre elles qui permet de proposer un traitement original des sites pollués où la sauvegarde des ressources hydrauliques est cruciale et applicable

dans la plupart des cas de pollutions lourdes où il n'existe pas de procédé satisfaisant tant sur le plan environnemental qu'économique.

Il s'agit dans un premier temps des procédés panneau-drain et Ecosol dont l'association permet de proposer le concept de confinement actif ; par la suite, cette combinaison a été étendue à l'ensemble des procédés de fixation et de traitement de la pollution.

La recherche des compétences dans le domaine de la chimie des solvants chlorés a conduit Solétanche-Bachy à s'associer à Rhodia-ATE propriétaire de plusieurs brevets concernant la réduction catalytique des solvants halogénés : la combinaison des deux techniques constitue le cœur du procédé Keops.

Figure 1  
Schéma de principe d'un panneau-drain  
Schematic diagram of a panel-drain

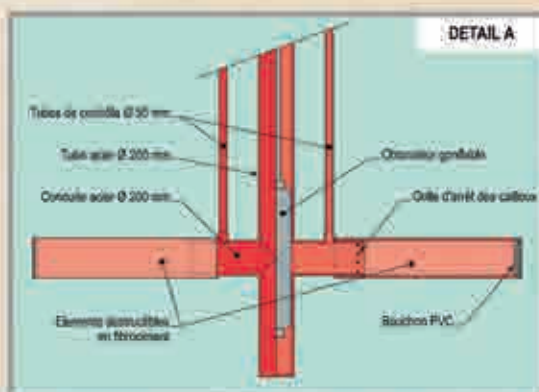


Figure 2  
Coupe de principe de la barrière filtrante de Neuville-en-Ferrain  
Schematic section of the filtering barrier of Neuville-en-Ferrain

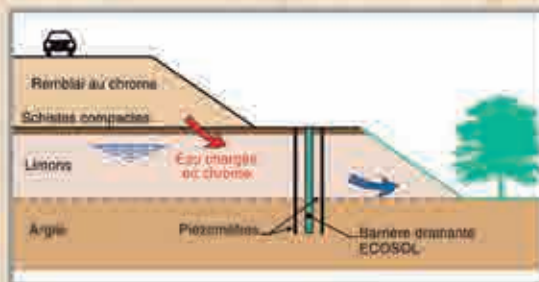


Photo 1  
Aspect du produit traitant et vue de la barrière filtrante  
Appearance of treatment product and view of filtering barrier



### LES PROCÉDÉS PANNEAU-DRAIN ET LES PROCÉDÉS DE TRAITEMENT

#### Le procédé panneau-drain

A l'origine, il s'agit d'un procédé permettant de mettre en place deux éléments drainants séparés par un élément étanche.

Cette technique a été mise au point en France pour résoudre les nombreux problèmes posés par la réalisation de tranchées drainantes en amont des glissements de terrain afin d'intercepter les eaux souterraines motrices des glissements de terrain. Le principe de ce procédé repose sur la mise en place dans un élément de barrette de paroi au coulis d'un tuyau horizontal composé d'une partie métallique et à chaque extrémité d'une partie cassable, d'un diamètre de l'ordre de 200 mm ; cet élément est lié à un tube vertical (figure 1).

Au moment de la réalisation des parties drainantes latérales, la partie cassable est détruite et la communication entre les deux parties drainantes peut s'établir après enlèvement de l'obturateur placé dans le tube vertical.

Ce procédé a permis de réaliser dans des sites difficiles des éléments de paroi drainante reliés les uns aux autres par ces tubes assurant de la sorte une excellente communication hydraulique entre tous les éléments de la paroi.

Ce procédé breveté a remporté le Prix de l'innovation de la Fédération des Travaux Publics en 1997 et fonctionne sur deux sites près de Lyon et de Marseille où plus d'une centaine de panneaux-drains fonctionne depuis environ deux ans.

## Les principes de rétention

Plusieurs procédés permettent de piéger les polluants contenus dans les eaux polluées. Ce sont entre autres la précipitation, l'adsorption et l'échange ionique; ils sont couramment utilisés pour le traitement des eaux.

La précipitation chimique permet de fixer les ions métalliques tels que le chrome sous forme d'hydroxyde ou de complexes insolubles selon les cas; cette réaction se produit en milieu basique et les granules d'Ecosol à base de ciment sont particulièrement bien adaptés en créant cet environnement basique propice.

L'adsorption est un mécanisme physique basé sur les propriétés de certains matériaux poreux à fixer les molécules à leur surface. Les forces attractives ont diverses origines telles que forces de Van der Waals, etc.

Dans ce domaine, les propriétés des charbons actifs sont très largement utilisées pour retenir les molécules organiques notamment les nombreux dérivés d'hydrocarbures tels que les HAP.

L'échange d'ions est également employé pour fixer les anions dissous dans les eaux. Ce procédé fonctionne bien par exemple avec les cyanures. Une large gamme de métaux et d'autres polluants peuvent ainsi être fixés par des résines échangeuses d'ions. Un bel exemple d'utilisation des capacités de fixation de produits tels que l'Ecosol réside dans la barrière filtrante de l'autoroute A22 dans le Nord de la France où les capacités de rétention des granules d'Ecosol mis en place dans une tranchée drainante ont été mises à profit pour piéger le chrome 6 présent dans les eaux de la nappe. La tranchée est calculée pour piéger une quantité prédéterminée de chrome, soit dans le cas présent 15 kg/ml de barrière (5 m de profondeur). Le gradient de la nappe étant faible, la barrière commence à se saturer au bout de quatre ans de fonctionnement malgré les très importantes quantités de chrome dissoutes dans la nappe (jusqu'à 2 g/l). La figure 2 résume le principe de fonctionnement exposé précédemment. La photo 1 montre l'aspect du produit utilisé.

Le procédé Ecosol est protégé par brevet. Ce concept de barrière filtrante est en quelque sorte le pré-curseur des dispositifs décrits dans cet article.

**Les procédés de destruction passive : la réduction catalytique des solvants chlorés**  
Les procédés de destruction passive sont encore peu répandus. Une application intéressante dé-

veloppée par Rhodia-ATE est la réduction catalytique des solvants chlorés.

La présence d'atomes de chlore rend en général les solvants chlorés très oxydants et par conséquent difficiles à dégrader par voie d'oxydation biologique ou chimique. Cependant, des recherches menées pendant les quinze dernières années ont montré que ces solvants chlorés sont facilement dégradés par la voie de la déchloration réductrice soit biologique soit chimique (Vogel et al. 1987). La déchloration réductrice est une réaction provoquée par les électrons associés aux métaux, avec ou sans complexe organique, au cours de laquelle un atome de chlore est remplacé par un hydrogène et est évacué sous la forme d'un ion chlorure. La déchloration réductrice peut se faire par exemple dans les nappes phréatiques anoxiques dont le pouvoir réducteur est suffisant. Il s'agit alors de l'atténuation naturelle des solvants chlorés, mais la vitesse de cette réaction en milieu naturel est souvent lente. Par ailleurs, la biodégradation anaérobie des solvants chlorés entraîne la production presque stœchiométrique des métabolites. Ces métabolites comprennent toutes les molécules de la même série mais avec un chlore de moins que la série précédente (figure 3). Dans le cas du trichloréthylène, ces métabolites sont le 1,2-dichloroéthylène, le chlorure de vinyle, l'éthylène et l'éthane. Par conséquent, la déchloration réductrice biologique ou l'atténuation naturelle peuvent conduire dans certains cas à la production de métabolites plus nocifs que la molécule de départ.

Au contraire des réactions biologiques, la déchloration réductrice réalisée sur la surface des métaux produit très peu de sous-produits chlorés. La cause de cette différence est sûrement liée à la réaction de surface, où plusieurs étapes peuvent avoir lieu avant que la molécule ne se détache de la surface. Les recherches se poursuivent sur les effets de surface, les différents métaux, les effets du milieu et les mécanismes de la réaction. Même s'il y a plusieurs hypothèses, la figure 4 montre trois types de mécanismes. La première est un transfert d'électrons direct entre le métal et la molécule chlorée, la source d'hydrogène étant l'eau. Le deuxième mécanisme est la production d'hydrogène moléculaire et la production de métal partiellement oxydé mais toujours capable de dégrader les solvants chlorés. Dans ce cas, le pouvoir réducteur du métal est malheureusement partagé entre la production d'hydrogène et la déchloration. Par contre, ces mécanismes peuvent être considérés comme plus réalistes car l'eau est tou-

**Jean-Jacques Kachrillo**

DIRECTEUR DÉPARTEMENT  
ENVIRONNEMENT  
Solétanche-Bachy

**René Lagarde**

INGÉNIEUR ENVIRONNEMENT  
Charbonnages de France

**Timothy Vogel**

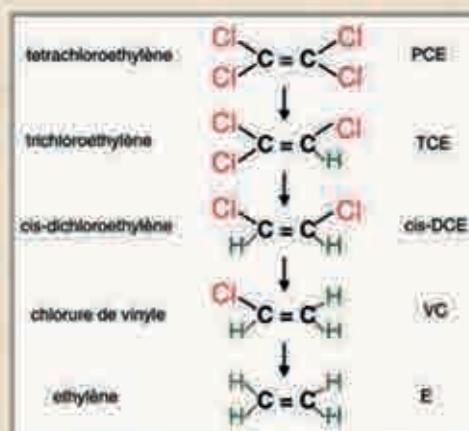
RESPONSABLE RECHERCHE  
ET DÉVELOPPEMENT  
Rhodia Eco Services-ATE

**Pascal Roudier**

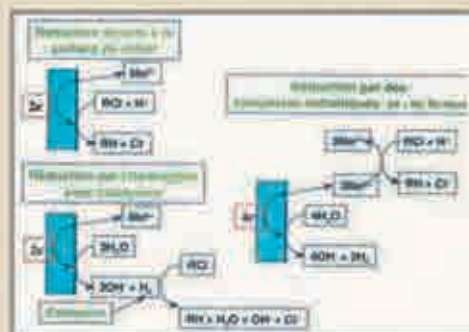
DIRECTEUR SCIENTIFIQUE  
ET TECHNIQUE  
Rhodia Eco Services-ATE

**Helmut Steiger**

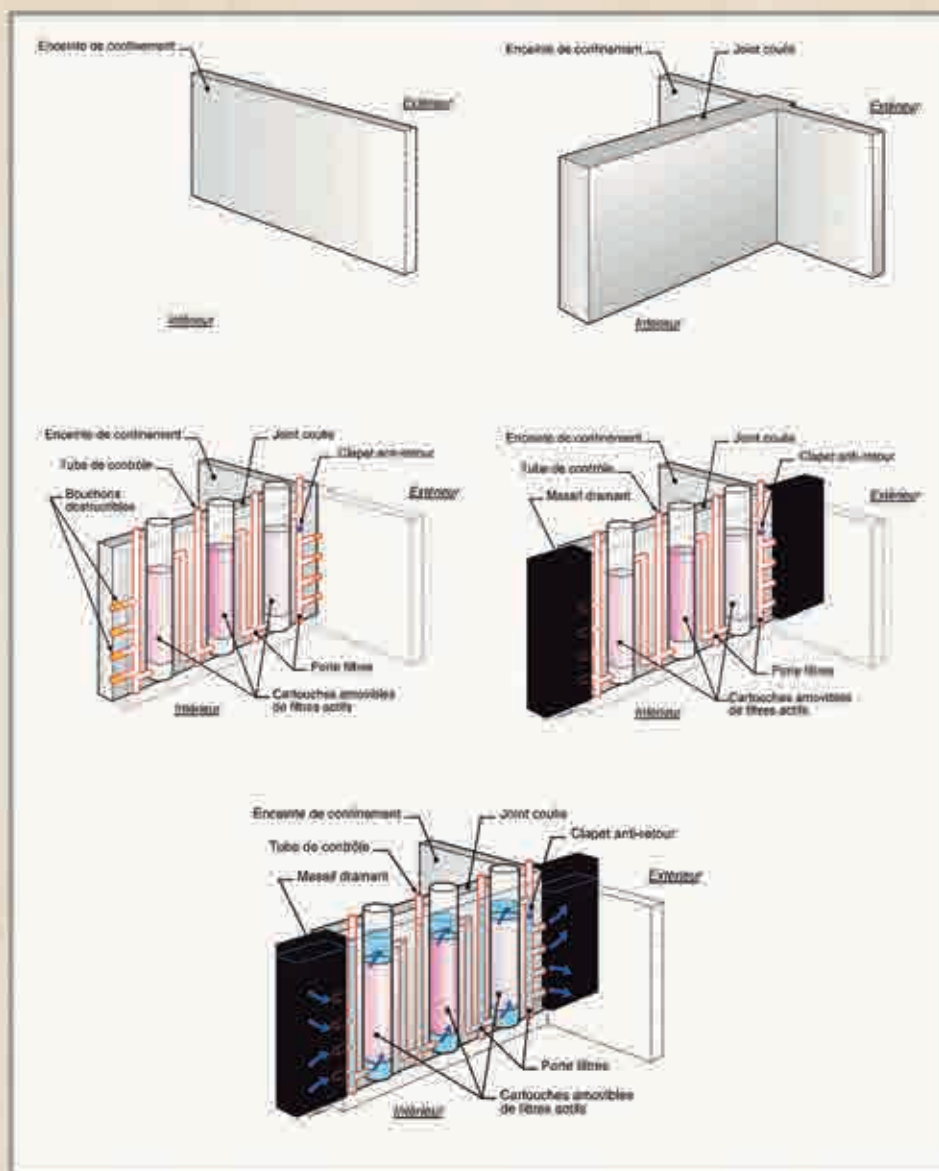
DIRECTEUR  
Geotechnisches Institut Solothurn - CH



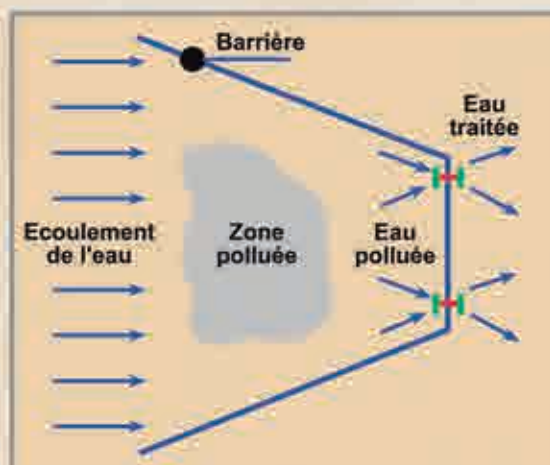
**Figure 3**  
Dégradation naturelle  
des solvants chlorés  
*Natural degradation  
of chlorinated solvents*



**Figure 4**  
Mécanisme de déchloration  
réductrice  
*Dechlorination reduction  
mechanism*



**Figure 5**  
Principe de réalisation  
d'une porte filtrante  
selon le procédé breveté panneau-drain  
*Principle of a filtering gate based  
on the patented panel-drain process*



**Figure 6**  
Plan de principe  
d'une barrière active  
*Schematic view  
of an active barrier*

jours présente. Le troisième mécanisme n'est pas une véritable contrehypothèse parce qu'il y a ajout d'un catalyseur. Celui-ci permet d'utiliser l'hydrogène pour déchlorer et donc éviter la perte d'énergie sous forme d'hydrogène.

Les supports brevetés développés par Rhodia-ATE permettent de traiter en se basant sur ces principes l'ensemble des solvants halogénés et en particulier les plus fréquents d'entre eux, les chlorés.

## ■ LES BARRIÈRES ET CONFINEMENTS ACTIFS

### Le panneau-drain et l'environnement

Le procédé panneau-drain permet de drainer les eaux souterraines vers un point de passage obligé dans un élément étanche. Par extension, il est facile d'imaginer que cet élément étanche fasse partie d'un écran de confinement. De même, il est possible d'installer des systèmes de filtres à l'intérieur des tubulures sans que le fonctionnement ni la mise en place du panneau-drain soit perturbé. Le tube vertical servant à la mise en place reste toujours accessible par le haut et on peut y installer les filtres de telle manière que ceux-ci puissent être démontés facilement et remplacés dès qu'ils sont saturés.

Enfin, on peut concevoir une unité de traitement similaire à la figure 5 où les cylindres verticaux constituent les réceptacles des filtres amovibles et interchangeables en fonction de leur degré de saturation et de la nature des éléments à piéger. Par rapport à une tranchée drainante continue, l'amélioration du système est importante, car dans ce cas, la capacité de fixation importe peu, puisqu'il sera toujours possible de changer la cartouche quand elle sera saturée.

La réalisation relativement simple de ce système est décrite dans la succession des schémas de la figure 5.

### Le confinement actif

À partir du moment où l'on peut diriger les eaux à traiter vers un point de passage obligé, il est possible de concevoir des systèmes associant confinement et traitement.

Deux conceptions complémentaires peuvent être envisagées :

- ◆ la barrière active : la nappe est interceptée par un écran où seront disposées une ou plusieurs portes dans lesquelles sera effectué le piégeage ou le traitement des éléments dissous (figure 6). Cette configuration est bien adaptée aux sites où le gradient de la nappe est bien établi, facile à calculer et suffisamment important, sans l'être trop cependant pour que le flux pollué ne puisse contour-

ner l'écran. Une étude hydrogéologique préliminaire détaillée permet de dimensionner la barrière, opération quelquefois délicate. Le débit dépendra principalement d'un paramètre assez difficile à appréhender : la perméabilité d'ensemble du terrain que percolera la nappe ; la marge d'incertitude est souvent importante et peut varier dans la proportion de 1 à 10, ce qui signifie que le débit pourrait varier de 1 à 10 dans le pire des cas. On pallie cet inconvénient en prenant principalement en compte la valeur la plus pessimiste, soit la perméabilité la plus forte entraînant en corollaire le débit le plus élevé. Cela peut éventuellement renchérir le coût d'installation et pourrait même rendre impossible la réalisation du projet, si le débit que l'on doit prendre en compte était trop élevé pour le traitement envisagé ; l'objectif étant toujours d'éviter les contournements latéraux ou horizontaux (figure 6) :

◆ le confinement actif. Fréquemment et en particulier dans les sites de plaine alluviale ou d'estuaires où sont implantés d'importants complexes chimiques ou autres, le gradient de la nappe n'est pas toujours bien établi ; il peut même s'inverser en fonction des marées ou plus simplement des crues. Dans ce cas, le nuage de pollution prendra au moins deux directions différentes, et la barrière active ne sera pas satisfaisante. De même, lorsque que le gradient est fort, le dimensionnement des parties traitantes devient difficile pour deux raisons. La granulométrie du filtre doit, en effet, être supérieure à celle du terrain ; par conséquent le traitement - dont l'efficacité est proportionnelle à la granulométrie (plus la granulométrie est forte et moins la surface d'échange est importante) - nécessite des quantités trop importantes de produit. Un second facteur est à souligner : un fort débit est synonyme de vitesse de transit élevée, ce qui peut être incompatible avec une fixation efficace, la réaction demandant un minimum de temps variable en fonction des supports et de la pollution traités. De plus, en cas de débit très faible, des supports de fixation comme certaines résines peuvent quelquefois relarguer le polluant.

Le confinement complet résout tous ces problèmes, car le site est isolé sur ses quatre côtés et le calcul hydraulique devient alors très simple (figures 7 et 8). Le flux entrant se limite aux eaux d'infiltration essentiellement pluviales qui pénètrent dans le confinement, "lixivient" les sols pollués et passent par les portes où elles sont débarrassées des polluants dissous. Il suffit alors de s'assurer que les portes, en nombre suffisant, sont correctement dimensionnées pour évacuer le flux entrant - dont le volume annuel sera égal au produit des précipitations par la surface abattu par un coefficient d'évaporation et de ruissellement variable selon les régions et le régime pluviométrique (à titre indicatif, nord de la France  $Q_{ent} = 800 \cdot 0,6$  ; Cata-

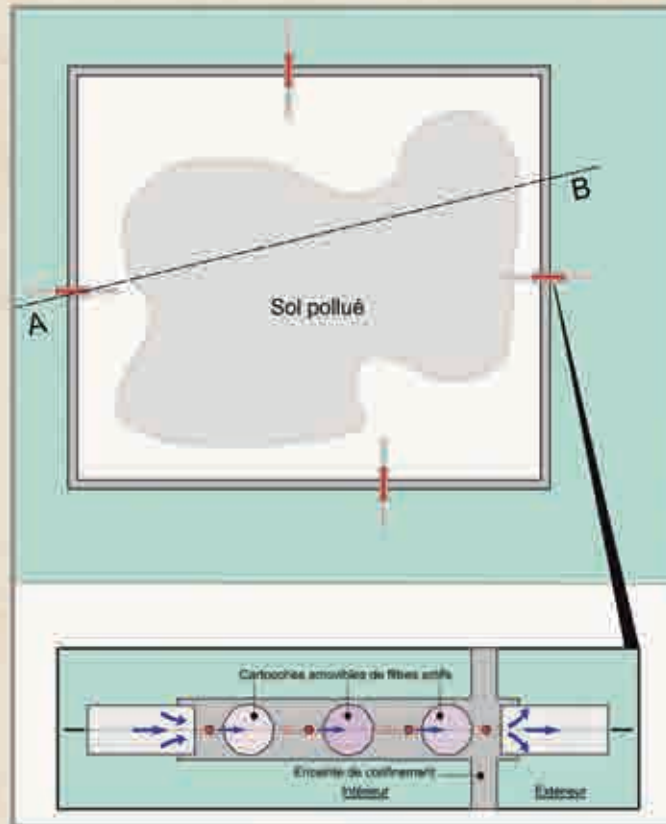


Figure 7  
Schéma de principe  
d'un confinement actif  
Schematic diagram  
of an active confinement

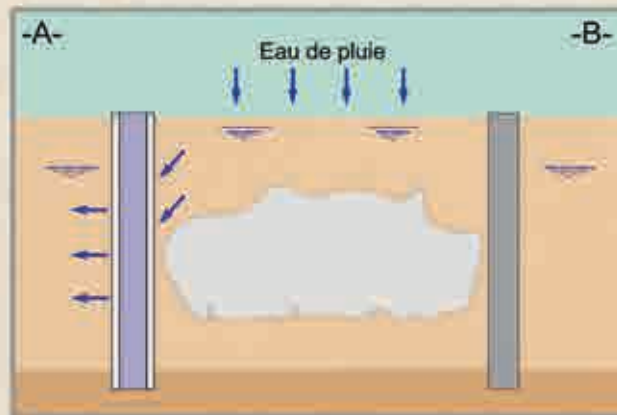


Figure 8  
Coupe de principe  
d'une porte filtrante  
Schematic section  
of a filtering gate

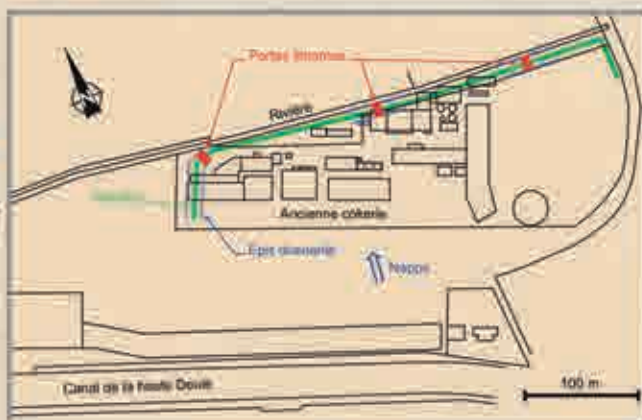
logne  $Q_{ent} = 600 \cdot 0,15$ ). De même compte tenu de la diminution du flux, le traitement s'en trouve simplifié dans la plupart des cas.

Nota : la terminologie de barrière et confinement actifs fait référence à l'action de traitement de la pollution plutôt qu'au mode de traitement qui est passif sans utilisation d'énergie extérieure.

### ■ AVANTAGES DE LA MÉTHODE

Il s'agit tout d'abord d'une méthode économique, car les travaux se limitent à la réalisation d'un écran (barrière ou confinement) avec une ou plusieurs portes fonctionnant par gravité avec un budget d'entretien très réduit, notamment aucun frais d'énergie. Par rapport au confinement total, le coût est réduit de moitié voire plus selon les configurations. Pour le pompage traitement, l'écart de coût est moins significatif, mais la qualité globale du traitement est bien supérieure, car le pompage reste

**Figure 9**  
Plan d'ensemble  
des travaux  
Overall layout  
of works



**Photo 2**  
Vue générale  
de la barrière  
General view  
of barrier



**Photo 3**  
Changement d'un filtre  
Changing a filter

toujours ponctuel quel que soit le soin apporté à l'implantation des puits.

La servitude d'occupation des sols est limitée au seul tracé de la paroi et aux emplacements des portes ; le site peut donc pour sa plus grande partie être réutilisé.

L'environnement du site est protégé, aspect très intéressant en cas de captage à proximité.

Le confinement actif est évolutif car il est possible, en cours de traitement, d'améliorer les processus de piégeage.

De même, les progrès de l'instrumentation permettent d'envisager une surveillance à distance dans laquelle le traitement de maintenance serait limité à la seule visite d'entretien et de remplacement des filtres, le système étant réglé avec des seuils d'alerte liés à la capacité de rétention du filtre ; les paramètres importants tels que débit, teneur en polluants par exemple étant enregistrés en continu ou semi-continu.

## Applications

### La barrière d'Auby

#### Description de la problématique

Le site de l'ancienne cokérie d'Auby est situé au bord du canal de la Haute-Deule à une dizaine de kilomètres de Douai. Cet ancienne installation a fonctionné sans interruption de 1902 à 1962 excepté pendant la Grande Guerre où elle a été détruite. Charbonnages de France a procédé à son démantèlement en 1969. Sur ce site d'une douzaine d'hectares, la pollution de la nappe superficielle

est caractérisée en temps ordinaire par des teneurs élevées en HAP au droit du site principalement ; celles-ci peuvent augmenter considérablement lors de travaux de terrassement remobilisant une partie de la pollution contenue dans les sols. La géologie du site est assez simple puisqu'entre 5 et 7 m se situe la couche étanche de l'argile de Louvil surmontée par un ensemble d'alluvions et de remblais où se concentre la pollution. La nappe superficielle coule vers le nord. Lors de travaux de remise en état (terrassement, enlèvement de cuves), une migration des HAP dans la nappe superficielle a été constatée.

#### Principe de réhabilitation (figure 9)

Charbonnages de France a opté pour le principe de réhabilitation suivant :

- ◆ réalisation d'un écran entre la zone polluée et le cours d'eau de la Vieille Rivière ;
- ◆ réalisation selon la technologie brevetée du panneau-drain de trois portes équipées de filtres en charbon actif renouvelables ;
- ◆ mise en place d'un réseau de drainage en amont et en aval de la barrière, pour faciliter l'écoulement de la nappe au travers des ouvertures.

A l'amont de la barrière active, Charbonnages de France peut alors procéder à la réhabilitation du site sans risquer la migration des HAP hors du site et sans perturber l'écoulement naturel de la nappe. Le site est en cours de réhabilitation par reverdissement et utilisation d'espèces végétales favorisant la dégradation naturelle des chaînes hydrocarbonées.

#### Description des travaux

L'écran au coullis d'une profondeur variant entre 6 et 8 m a une longueur de 430 m pour une superficie totale de 3520 m<sup>2</sup>. Le coullis utilisé tient compte de la présence en forte quantité de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (eaux catégorie A4) dans les eaux de la nappe et est adjuvanté par des cendres volantes et un réactif spécifique ; sa perméabilité est de 5 x 10<sup>-9</sup> m/s.

Les trois portes qui furent construites en atelier sont en acier inoxydable et contiennent chacune deux filtres en charbon actif d'une capacité de 150 kg ; ils sont dimensionnés en fonction des paramètres hydrologiques et chimiques du site pour être renouvelés une fois par an (photos 2 et 3). Les épis drainants réalisés à la tranchée représentent 600 ml. Ils facilitent la circulation des eaux de la nappe (environ 1,5 m<sup>3</sup>/h) au travers des portes. De plus, chaque porte peut fonctionner soit en série soit en parallèle ; on peut augmenter ainsi le débit, ce qui fut le cas notamment au printemps 1999 après les fortes pluies de la période hivernale.

#### Instrumentation (photo 4)

La surveillance du site est facilitée par la mise en place d'une instrumentation permettant de suivre la piézométrie du site en continu et surtout l'évo-



lution en semi-continu de la teneur en HAP en amont et en aval de chaque porte. Un fluorimètre installé dans un conteneur à proximité de la porte centrale est alimenté alternativement toutes les quatre heures par de l'eau pompée en entrée ou sortie de chaque porte.

Le système est géré par le logiciel POLLUX développé par Soldata et relié au réseau téléphonique. Charbonnages de France ainsi que SBF et Soldata peuvent suivre, de leurs bureaux, l'évolution des paramètres mesurés et intervenir si nécessaire pour changement des filtres ou entretien. Parallèlement, Charbonnages de France vérifie par des moyens plus classiques les teneurs en polluants en amont et aval de la barrière et valide les mesures relevées par l'instrumentation.

### Bätterkinden (Suisse)

#### Problématique

L'usine de retraitement de solvants appartenant à Solva Chemie est installée sur la commune de Bätterkinden entre Soleure et Berne. Jusqu'en 1992, en l'absence d'une dalle de béton protectrice, le sous-sol de l'usine était pollué par des infiltrations de solvants chlorés. La source de contamination étant tarie, la nappe restait polluée par un mélange de solvants chlorés que les autorités cantonales ont demandé d'éliminer conformément à l'ordonnance fédérale sur les sites contaminés, entrée en vigueur le 1<sup>er</sup> octobre 1998. Le Geotechnisches Institut a étudié plusieurs solutions et a proposé aux autorités helvétiques un traitement de la nappe par une barrière active au travers de laquelle les solvants seraient détruits par réduction catalytique. Le site est caractérisé par une nappe de faible débit ( $\approx 10$  l/mn sur l'ensemble du site) coulant en direction du Müllibach, un sous-sol moyennement perméable avec un substratum imperméable. Après accord des autorités, le Geotechnisches Institut a choisi la solution proposée par Sif Groutbor (filiale de SBF) associé à ATE consistant à installer une porte filtrante contenant le produit de traitement :

- ◆ un système de drainage récoltant les eaux, forages horizontaux et paroi drainante;
- ◆ une paroi au coulis;
- ◆ une porte filtrante construite selon la technologie brevetée du panneau-drain contenant un filtre d'un volume de 1 m<sup>3</sup> et pesant environ 5 t au travers duquel l'eau polluée percole. Le produit traitant, également breveté, est un Fer 0 adjuvanté par un ensemble de catalyseurs (métaux précieux) permettant de ramener les teneurs en polluant sous les seuils acceptés par l'administration cantonale. L'ensemble fonctionne par gravité, est toujours accessible par le haut et ne nécessite quasiment pas d'entretien;
- ◆ un dispositif de rejet comprenant un puits de site et un écoulement gravitaire vers le Müllibach,



Photo 4  
Instrumentation sur site  
On-site instrumentation



Photo 5  
Vue du produit traitant en place dans la porte  
View of treatment product in place in the gate

#### Le produit traitant

Sur le site de Bätterkinden, la difficulté principale consistait à détruire le chlorure de vinyle, chaînon ultime de la série des solvants chlorés qui possède la liaison chlore la plus solide. Après essai en laboratoire avec l'eau du site, Rhodia ATE a proposé un support de traitement spécifique permettant de diviser par plus de 10 la quantité de chlorure de vinyle.

Le point important à signaler est la réactivité de ce produit, car il fallait que son volume soit compatible avec le système panneau-drain où la possibilité de changer ou d'intervenir sur le filtre doit toujours être possible.

Il fallait également que la perméabilité de ce produit ne dépasse pas un certain seuil donné par calcul (de l'ordre de  $5 \times 10^{-4}$  m/s) pour que les pertes de charge soient inférieures à 1 m; au-delà en effet, le fonctionnement hydraulique de la tranchée n'aurait plus été satisfaisant.

Sachant que la réactivité décroît avec la diminution de la surface d'échange et corollairement la granulométrie et la perméabilité, le choix d'un support de traitement était délicat.

Après plusieurs essais, Rhodia a opté pour un mélange de granules de fer adjuvanté par un ensemble de catalyseurs de perméabilité légèrement supérieure à  $5 \times 10^{-4}$  m/s. Les concentrations fixées par le cahier des charges soit 10 µg/l à abaisser à moins de 1 µg/l ont conduit à mettre en place un filtre d'un peu plus de 1 m<sup>3</sup>, soit environ 5 tonnes manipulables avec des moyens de levage classique (photo 5).

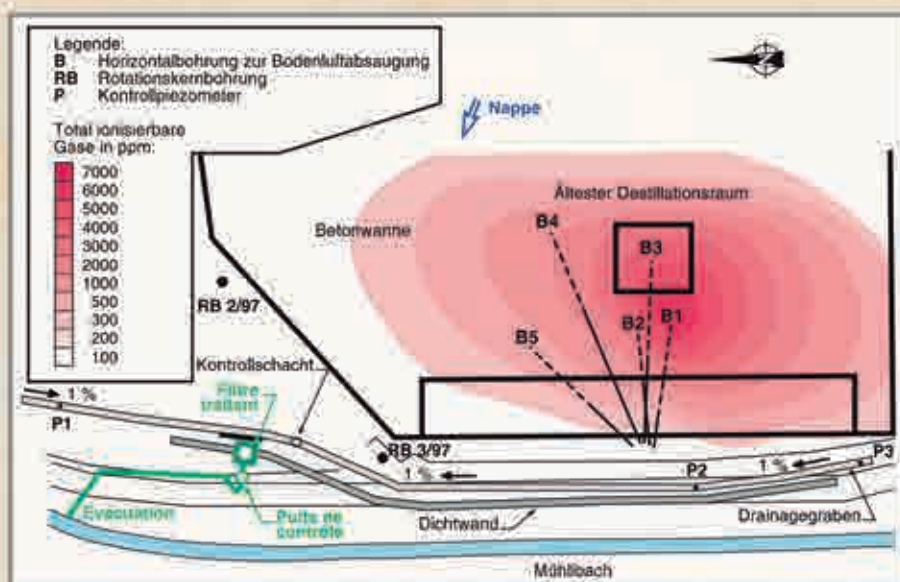


Figure 10  
Plan des travaux - Layout of works

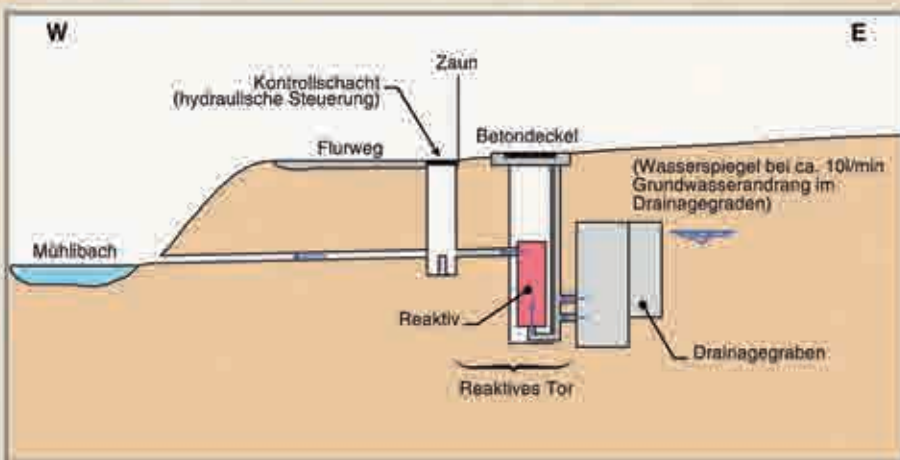


Figure 11  
Coupe au droit  
de la porte filtrante  
Section  
at filtering gate

Éléments dissous (teneur en µg/l)	Amont	Aval
Chlorure de vinyl	3	0,23
Trichloréthylène	94	0,46
Cis 1-2 Dichloréthylène	199	2
Perchloréthylène	25	0,16
1.1.1. Trichloréthane	9	0,22
Chlorure de méthylène		0,08
1.1 Dichloréthane	0,67	0,5
Trans 1.2 Dichloréthylène	0,21	
Chloroforme	0,39	
1.2 Dichloropropane	0,12	

Tableau I  
Résultats du traitement  
Results of treatment

### Réalisation des travaux

Après réalisation de l'écran au coulis et de la paroi drainante afin de récolter les eaux par pompage puis de les traiter provisoirement sur charbon actif, les travaux suivants ont été effectués (figures 10 et 11) :

- ◆ le forage à la pelle rétro d'un panneau au coulis dans lequel a été descendue la porte filtrante ;
- ◆ après séchage, le drain amont en gravier 10-30 a permis d'ouvrir la porte, puis de relier celle-ci à la tranchée drainante en enlevant les palplanches d'isolation ;
- ◆ à l'aval, un puits de visite et un écoulement gravitaire d'une trentaine de mètres de long vers le Müllibach ;
- ◆ la mise en place du filtre à l'intérieur de son réceptacle.

Les différents regards à l'amont comme à l'aval ont permis de vérifier le bon dimensionnement et de prélever des échantillons qui ont permis de montrer l'efficacité du dispositif. La porte et le filtre sont entièrement en acier inoxydable de manière à éliminer les risques de corrosion (photo 6).

### Résultats

Le tableau I résume l'évolution des teneurs en solvants chlorés à l'amont et à l'aval après 15 jours de traitement. Les teneurs en chlorure de vinyle sont ainsi divisées par plus de 10, alors que les teneurs en trichloréthylène et cis-1-2 dichloréthylène sont elles, divisées par environ 200.

La teneur en chlorure de vinyle considéré comme le principal polluant reste largement en dessous du seuil fixé par les autorités helvétiques soit 1 µg/l. Le produit de traitement est garanti pour une durée de dix ans.

### CONCLUSION

Le procédé de barrières et confinements actifs couplés à des supports de traitement tels que l'Eco-sol, et les principaux systèmes passifs de traitements de l'eau comme les charbons actifs, les résines ou les zéolites permet d'envisager de traiter une large gamme de pollutions de nappe – comme les hydrocarbures aromatiques polycycliques, organiques tels que BTEX, cyanures et métaux lourds en particulier chrome 6, arsenic –, à des coûts très compétitifs avec des frais de maintenance très réduits et des servitudes limitées.

Un seuil technologique a de plus été franchi avec l'utilisation des produits de traitement de Rhodia-ATE qui permettent de détruire les solvants chlorés (exemple de Bätterkinden) mais aussi les autres composés halogénés au sein même des portes. Les pollutions par solvants chlorés étant extrêmement fréquentes compte tenu de l'utilisation quasi générale de ceux-ci par de larges secteurs de l'industrie, cette technique devrait se développer.

Plusieurs projets similaires sont à l'étude en France et en Europe ou en cours d'exécution comme le confinement actif de Clipper Oil dans la banlieue de Barcelone pour le traitement d'une pollution par des hydrocarbures lourds.

## BIBLIOGRAPHIE

- P.-J. Barker, J.-J. Kachrillo, in ground treatment of polluted groundwater. 2<sup>nd</sup> BGS, London, September 99.
- J.-J. Kachrillo. Une application des procédés panneau-drain et Ecosol : le confinement actif. III<sup>e</sup> Congrès international de géotechnique de l'environnement. Lisbonne, septembre 1998.
- A. Deniau. De la paroi drainante au procédé panneau-drain, *Travaux* n° 725, novembre 1996, p. 42-47.
- A. Esnault. Containment of polluted sites : new approach to the choice of materials. *Polluted and Marginal Land*. Manchester, 1994.
- G. Evers. Practical solutions for the treatment of groundwater. NATO/CCMS pilot phase study phase III, EPA 542-R-98-003.
- M. Rat et al. Etude et traitement d'une pollution au chrome due à l'utilisation de déchets dans des remblais autoroutiers. Symposium international "Exemples majeurs et récents en géotechnique de l'environnement". Février 1996, Paris.
- T. Vogel, M. Criddle, C-S and P-L McCarty. Transformations of chlorinated aliphatic compounds. *Environmental Science and Technology*. 1987.

**Photo 6**  
Vue générale du chantier  
General view of worksite



## ABSTRACT

**Barriers and active confinements : a promising concept**

**Examples of application to pollution by heavy petroleum products and chlorinated solvents**

*J.-J. Kachrillo, R. Lagarde, T. Vogel, P. Roudier, H. Steiger*

The combination of panel-drain processes and retention processes such as Ecosol, resins or active carbon, or treatments such as the Keops process, make it possible to propose the barrier or active confinement concept, an original and low-cost solution for the in-situ treatment of industrial groundwater pollution. Associated with site instrumentation, this method allows the polluted site to be isolated from its surroundings, and the soft treatment of groundwater pollution at a low cost.

## RESUMEN ESPAÑOL

**Barreras y confinamiento activos : un concepto prometedor.**

**Ejemplos de aplicación contra las contaminaciones por hidrocarburos pesados y disolventes clorados**

*J.-J. Kachrillo, R. Lagarde, T. Vogel, P. Roudier y H. Steiger*

La combinación de los procedimientos panel-dren y de sistemas de retención, como por ejemplo, el Ecosol, las resinas o los carbonos activos o de tratamiento, como ocurre con el procedimiento Keops, permite proponer el concepto de barrera o confinamiento activo, que constituye una solución original y económica para el tratamiento in situ de las contaminaciones industriales de las aguas subterráneas (capas freáticas). En combinación con una instrumentación del emplazamiento a proteger, este método permite aislar el área contaminada de su entorno y tratar "suavemente" y con un coste reducido, la contaminación de las aguas subterráneas.



En 2023,  
votre assureur unit  
toutes ses forces sous  
une nouvelle identité



Retrouvez tous nos produits  
d'assurance sur [smabtp.fr](https://smabtp.fr)



**VOTRE ASSUREUR  
PARTENAIRE**

# L'Hydrofraise® par Soletanche Bachy

Plus compacte, plus performante, plus respectueuse de l'environnement, plus connectée :  
Depuis 50 ans, Soletanche Bachy fait évoluer sans cesse son Hydrofraise® pour répondre  
toujours mieux aux besoins des chantiers de fondations spéciales d'aujourd'hui et de demain.



# CINQUANTE

ans d'innovation

1972

Dépôt du premier brevet  
de l'Hydrofraise®

1989

Record de profondeur  
à 125m sur le barrage de  
Mud Mountain (Etats-Unis)

2016

Première Hydrofraise® à  
trappes sur l'extension  
de la ligne 14 du métro  
parisien

2017

Première Hydrofraise®  
avec power pack déporté  
sur un projet ferroviaire  
en Nouvelle-Zélande

2023

Lancement de la  
nouvelle Hydrofraise®  
HF3 avec porteur à  
emprise réduite

1973

Premier chantier pour  
l'Hydrofraise®  
à la Gare de Lyon (Paris)

2008

Brevet de l'Hydrofraise®  
compacte conteneurisable  
et démontable rapidement

2017

Première Hydrofraise®  
à power pack électrique  
sur un chantier  
d'assainissement à Londres

2021

Intégration de  
l'Hydrofraise® dans Zetta -  
Lyon, la plateforme de big  
data de Soletanche Bachy



SOLETANCHE BACHY

Retrouvez plus  
d'informations en  
scannant le QR code

