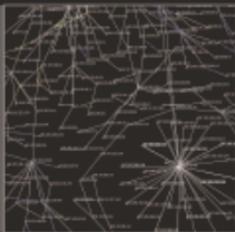


## RESEAUX

- Aménagement numérique : accompagner le haut et le très haut débit au cœur des territoires
- Couvage aéroporté le haut débit à l'Hexagone
- Les tranchées, pourquoi et comment ?
- LGV High Speed 1. Londres - Tunnel sous la Manche
- Le projet TINA 2
- Reconstruction de l'axe d'axes usées de la Caennaise
- Réhabilitation d'ouvrages hydrauliques routiers en Guyane
- Les grands corridors mondiaux de transport s'intègreront de plus en plus à l'Arctique

# Réseaux



# Réseaux souterrains : les valeurs d'une Profession



Gérard Maurice  
Président de Canaliseurs  
de France – FNTF

Deuxième syndicat de spécialités de la Fédération nationale des Travaux publics, Canaliseurs de France regroupe près de 400 entreprises de fourniture, de pose et de réhabilitation de canalisations d'eau potable, d'eaux usées et de gaz. 25 000 salariés se mobilisent chaque jour pour la pose et l'entretien des réseaux en France.

Depuis quelques années et comme les nombreux autres acteurs de la profession, l'accent est mis sur la communication, la qualification et le recrutement. En effet, parce que les réseaux sont souterrains, nous devons redoubler d'efforts pour promouvoir nos ouvrages et notre profession.

L'année 2007 a été marquée par le lancement d'une nouvelle campagne de communication avec notamment le choix d'une nouvelle identité visuelle et surtout la naissance de notre mascotte CANO. Déclinée sur les différents supports de communication, c'est une image plus moderne et dynamique de la profession qui s'affiche dorénavant. Notons aussi l'investissement du syndicat dans notre participation aux Olympiades des métiers. Cette compétition reconnue représente un formidable tremplin professionnel pour les jeunes participants, mais elle est aussi le moyen de faire découvrir nos métiers aux plus jeunes et à leurs parents.

Dans un objectif de valorisation des ouvriers, la Commission Formation de Canaliseurs de France a mis en place un outil performant : le

CQP<sup>1</sup> Compagnon Canalisateur. Depuis sa création en 2003, 72 diplômés ont été décernés. L'objectif en 2008 est fixé à 70.

Si la question de l'emploi est omniprésente, les valeurs que sont la qualité, la sécurité et l'environnement restent au cœur des préoccupations du syndicat. Notre label Canaliseurs de France, créé en 1990, intégrera à compter du 1<sup>er</sup> mars 2008 la nouvelle nomenclature des travaux publics sur laquelle il s'appuie.

Par ailleurs, un groupe de travail se penche sur une réforme de ce label pour en faire un outil toujours plus performant en matière de reconnaissance du professionnalisme des entreprises de pose de canalisations. Le Salon des Maires et des Collectivités locales, fin novembre à Paris, auquel Canaliseurs de France participe pour la seconde année consécutive, sera l'occasion pour les décideurs territoriaux de le découvrir.

Canaliseurs de France entamera l'année 2008 sur cette même dynamique, en mobilisant ses efforts sur la communication et la valorisation de notre profession et continuera à favoriser l'engagement des entreprises adhérentes dans une démarche de développement durable.

1. CQP : Certificat de qualification professionnelle

# Aménagement numérique : accompagner le haut et le très haut débit au cœur des territoires

**Chaque jour, internet et la communication de données numériques en général s'imposent davantage dans la vie des citoyens et des entreprises. Face à l'évolution des usages, les réseaux d'accès sont passés en quelques années de débits de quelques kilobits à plusieurs mégabits par seconde. Mais tous les territoires ne sont pas égaux : alors que les efforts des opérateurs se concentrent dans les zones les plus rentables, certaines restent inéligibles au haut débit. À l'heure où l'augmentation des besoins de connectivité s'accroît, amenant les opérateurs à préparer le déploiement de technologies alternatives à l'ADSL, pour le très haut débit et la mobilité, les acteurs publics se mobilisent pour réduire les fractures numériques. Parmi leurs actions, celles portant sur les coûteuses infrastructures passives sont déterminantes; il est donc indispensable de sensibiliser l'ensemble des acteurs – maîtres d'ouvrage mais aussi bureaux d'études et entreprises de travaux. Une prise de conscience large permettra d'introduire les réseaux numériques dans toutes les démarches d'aménagement, pour la compétitivité et l'équilibre des territoires.**

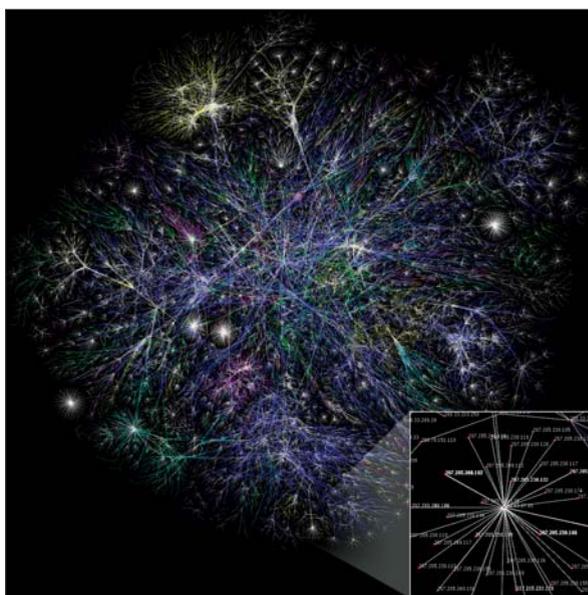
## ■ Évolution des besoins de transmission de données numériques

Souvent comparée aux précédentes grandes avancées techniques ayant profondément modifié le fonctionnement des sociétés humaines, à l'image de la révolution industrielle du XIX<sup>e</sup> siècle, la révolution informatique n'a jamais été aussi tangible que depuis que les machines sont interconnectées à l'échelle planétaire afin de permettre l'échange d'informations numériques, répliquables à l'infini, instantanément et sans perte de qualité. En quelques années, la France est entrée dans cette ère de l'information numérique, basée sur les échanges de données par les réseaux de communications électroniques, en particulier sur le réseau internet. S'inscrivant aujourd'hui pleinement dans les grandes orientations nationales<sup>1</sup> et européennes<sup>2</sup>, l'adoption large des technologies de l'information et de la

1. Utilisation des TIC au service de la durabilité des territoires, inscrite dans la Stratégie nationale de développement durable (2006)

2. Engagement volontariste de l'ensemble des pays membres de l'Union européenne dans le développement de la société de l'information, au bénéfice de la compétitivité globale de notre économie, conformément à la stratégie de Lisbonne (2000)

communication a commencé dans notre pays à la fin des années 90. Les premiers accès à internet se font alors par des connexions « bas débit » : les capacités techniques des équipements limitent la vitesse de transmission à quelques kilobits par seconde. Les Français découvrent le web et l'e-mail – avec un peu de retard par rapport à certains de leurs voisins européens – et commencent à délaisser leur bon vieux minitel (figure 1).



Puis, peu à peu, les sites web s'enrichissent : images plus nombreuses, interactivité accrue... Avec les années 2000, le grand public s'empare du web. La prise en main des outils de publication se simplifie : il n'est plus nécessaire d'être informaticien pour créer un site et participer à la création de contenus. Fin 2006, la France compte un million de blogueurs; à l'été 2007, la version francophone de l'encyclopédie Wikipedia compte près de 550 000 articles, rédigés par les internautes eux-mêmes.

Parallèlement, l'électronique grand public rejoint la vague numérique. En dix ans, le marché de la photographie est métamorphosé par le numérique; dans la minute qui a précédé l'écriture de cette phrase, 2 984 photos ont été importées par des internautes sur le site de partage Flickr.

Les baladeurs numériques et le partage de fichiers audio font trembler l'industrie du disque. Le jeu vidéo en ligne se développe; chaque semaine, Nintendo enregistre 5 millions de connexions de ses consoles Wii et DS. La télévision par internet et la vidéo à la demande séduisent un public de plus en plus large; en juin 2007, 137 millions de personnes se connectent sur le site de partage de vidéos Youtube. Et tous ces chiffres sont en croissance ininterrompue depuis plusieurs mois...



**Stéfán Le Dù**  
Chargé d'études techniques  
CETE de l'Ouest –  
Groupe aménagement numérique des territoires

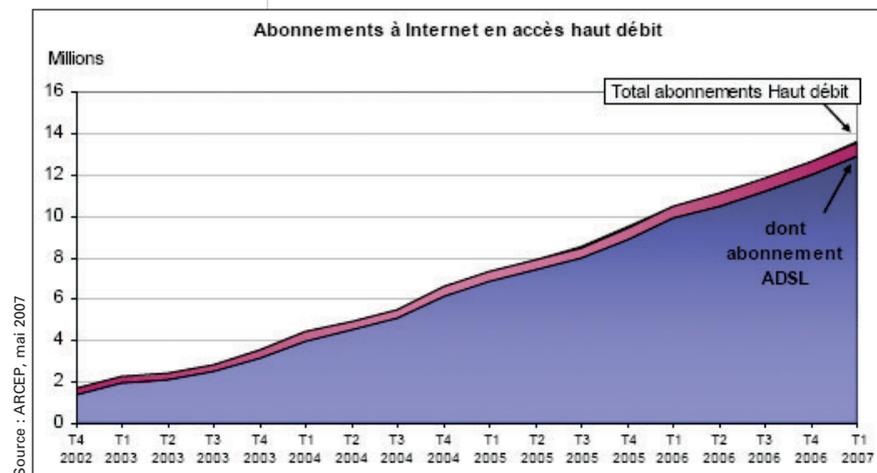


**Guillaume Mellier**  
Chef de groupe  
CETE de l'Ouest –  
Groupe aménagement numérique des territoires

**Figure 1**  
Une représentation des principaux liens du réseau internet mondial (2005)  
An illustration of the main links of the global Internet network (2005)

Licence Creative Commons/Matt Britt

## Aménagement numérique : accompagner le haut et le très haut débit au cœur des territoires



Source : ARCEP, mai 2007

**Figure 2**  
Évolution des abonnements haut débit en France  
*Evolution of broadband subscriptions in France*



Si le marché résidentiel est devenu moteur dans l'adoption des nouveaux services, les usages professionnels ne sont pas en reste : le courrier électronique s'est imposé partout, et des applications telles que la cartographie en ligne, la conception collaborative à distance ou encore la visioconférence permettent d'économiser du temps et de l'argent et d'améliorer les prestations et les productions.

### Architecture globale et technologies

L'augmentation des débits, nécessaire à l'évolution et à l'élargissement des usages, n'a été possible que par une amélioration des infrastructures et équipements constitutifs des réseaux.

#### Hiérarchie des réseaux

Les infrastructures des réseaux de communications électroniques peuvent être décomposées en trois niveaux : desserte, collecte et transport.

Le niveau le plus proche de l'utilisateur est celui de la desserte; on parle également des « réseaux d'accès ». Son échelle est celle de la ville, du quartier et de la rue. Partie la plus ramifiée du réseau, puisqu'il y existe un lien menant à chaque utilisateur, elle est aussi celle où les débits à transporter sont les plus faibles.

Au niveau supérieur, on trouve les réseaux de collecte, à l'échelle des grandes agglomérations, des départements et des régions. Ils permettent de relier le niveau desserte à celui du transport. Ce dernier niveau, quant à lui, maille les pays et les continents, couvrant des distances de centaines voire milliers de kilomètres.

#### Cohabitation des réseaux et des technologies

Sur un même territoire, on peut trouver une superposition de plusieurs réseaux de même niveau : par exemple,

un quartier peut être irrigué par plusieurs réseaux de desserte parallèles, correspondant à des technologies différentes ou appartenant à de multiples opérateurs. Les technologies employées diffèrent suivant le niveau hiérarchique considéré. Au niveau des réseaux de transport, on utilise principalement la fibre optique, seul support physique capable de supporter sur de longues distances les débits considérables qui sont à véhiculer.

La collecte est également dominée par la fibre optique, mais on trouve aussi des technologies alternatives (radio, satellite, liaison cuivre...), généralement mises en œuvre quand le déploiement d'un réseau filaire optique est trop coûteux, par exemple en raison de la configuration du territoire. Dans certaines zones, on trouve également de la collecte sur cuivre, héritée de l'époque où les besoins se limitaient au service téléphonique et donc à des bandes passantes plus réduites. Ces réseaux de collecte cuivre sont peu à peu remplacés par de la fibre optique, dans les zones où les besoins le justifient économiquement.

La partie desserte est celle sur laquelle les évolutions récentes ont été les plus marquées, avec une succession de sauts technologiques ayant permis de passer du bas au haut débit, et préfigurant aujourd'hui d'une part le très haut débit, d'autre part le haut débit mobile.

### Évolution des usages et évolution des infrastructures

#### Utilisation du réseau cuivre existant : du RTC à l'ADSL

C'est au niveau de la desserte que se trouvent les principaux goulots d'étranglement. Étant donné qu'elles sont très capillaires et pénètrent au plus profond des tissus urbains, leur amélioration coûte cher. C'est pourquoi, au cours des dernières années, tout a été fait pour exploiter au mieux des infrastructures existantes, mais initialement non dédiées au transport d'informations numériques à haut débit.

Ainsi, à partir de 2000, les premiers accès haut débit par ADSL font leur apparition sur le marché résidentiel français, succédant aux connexions RTC analogiques. Permettant des débits de plusieurs centaines de kilobits par seconde sur une simple ligne téléphonique, sans occupation de cette dernière et sans facturation au temps passé, l'introduction de l'ADSL constitue une véritable rupture technologique, ouvrant la porte à de tous nouveaux usages. L'ADSL est rapidement adopté par les principaux opérateurs, et déployé massivement, d'abord dans les zones denses – les plus rentables car disposant d'une plus grande quantité de clients potentiels pour chaque central téléphonique raccordé et équipé – puis progressivement dans les zones rurales (figure 2).

Largement majoritaire aujourd'hui (environ 13 millions d'abonnés à l'ADSL en France sur 13,7 millions d'abonnés haut débit, lesquels sont à rapporter aux 15,9 millions d'abonnés à internet<sup>3</sup>), cette technologie a toutefois ses limites : débit maximum d'une vingtaine de mégabits par seconde dans le meilleur des cas, performances et éligibilité fortement liées à l'éloignement par rapport au répartiteur téléphonique (plus de la moitié des lignes téléphoniques françaises ne peuvent pas offrir un débit ADSL supérieur à 5 Mbit/s<sup>4</sup>). Par ailleurs, de par sa nature filaire, l'ADSL ne peut bien évidemment pas satisfaire la demande croissante de connectivité nomade ou mobile.

Les réseaux câblés, créés initialement pour la télévision dans certaines zones urbaines, présentent des similarités avec le réseau téléphonique : ils sont aujourd'hui exploités pour offrir des accès internet à haut débit, mais se révèlent insuffisants pour supporter le très haut débit<sup>5</sup> dans de bonnes conditions.

Afin de pallier ces insuffisances inhérentes à l'architecture physique même du réseau téléphonique et du réseau câble – débits et portée limités; caractère fixe des accès – les opérateurs déploient aujourd'hui en parallèle sur le territoire deux types de réseaux : les technologies radio, qui offrent des services mobiles, et les réseaux optiques, qui permettent d'accéder au très haut débit.

#### **Les réseaux hertziens : couverture à moindre coût et services nomades et mobiles**

Les technologies hertziennes issues du monde de l'informatique, au premier rang desquelles le Wi-Fi et le WiMAX, sont déployées selon les endroits suivant deux objectifs différents.

Il peut s'agir d'offrir un complément aux réseaux filaires existants (ADSL, câble), en apportant l'ubiquité propre aux réseaux sans fil et nécessaire aux services de nomadisme et de mobilité.

Il peut également s'agir de régler un problème de zone blanche : grâce à des coûts de déploiement réduits liés à l'absence de travaux de génie civil lourds, les réseaux radio peuvent offrir des solutions haut débit aux territoires qui n'ont pas accès à l'ADSL.

Parallèlement à ces déploiements, les réseaux de téléphonie mobile – initialement conçus et mis en place pour le transport de la voix - sont également mis à contribution pour offrir des accès mobiles à internet, avec l'introduction de technologies de transport de données (GPRS, EDGE, UMTS, HSDPA...).

#### **Très haut débit : le choix de la fibre optique**

La transmission sur fibre optique, contrairement à la transmission électrique ou hertzienne, offre des débits

virtuellement illimités et une très faible sensibilité à la distance. Alors que les technologies cuivre et radio atteignent péniblement des débits de quelques dizaines de mégabits par seconde dès que les distances dépassent les quelques centaines de mètres, la fibre optique est physiquement capable de véhiculer des milliers de gigabits par seconde, et ce sur des dizaines de kilomètres. Bien entendu, de telles performances records ne s'obtiennent pas, aujourd'hui, avec des équipements grand public.

Mais le potentiel physique du support est bien là, et si les premières offres commerciales se situent généralement autour des 100 Mbit/s avec des équipements actifs revenant à une centaine d'euros par abonné, il suffira demain aux opérateurs de changer ces équipements, sans intervention sur les câbles, pour offrir 10, 100 ou 1 000 fois plus de débit aux utilisateurs.

Pour ces raisons, certains opérateurs précurseurs ont commencé à déployer les premiers réseaux de desserte optique français il y a quelques années, amenant la fibre au plus près de l'utilisateur final. Jusqu'alors très limitées géographiquement et souvent réservées au marché professionnel compte tenu des tarifs, les offres très haut débit sur fibre optique sont aujourd'hui introduites progressivement par les grands opérateurs sur le marché résidentiel. Free puis Orange et Neuf Cegetel ont ainsi annoncé au cours des douze derniers mois la mise sur le marché d'une offre fibre optique destinée au grand public.

En dehors de nos frontières, la desserte très haut débit par fibre optique a déjà pris de l'avance, principalement en Asie, aux États-Unis et de plus en plus en Europe du Nord. Dans ces pays, les abonnés aux offres FTTx<sup>6</sup> se comptent en centaines de milliers (Suède, Danemark, Pays-Bas, Norvège), voire en millions (Japon, Corée du Sud, États-Unis).

3. Source : ARCEP – Observatoire du marché des communications électroniques – 31 mars 2007.

Voir <http://www.arcep.fr/index.php?id=9362>

4. Source : ARCEP – Informations sur la résorption des zones blanches – Avril 2006. Voir <http://www.arcep.fr/fileadmin/reprise/dossiers/collectivites/pdf/info-res-zblanches-0406.pdf>

5. Il n'existe pas de définition précise du « très haut débit » ; toutefois, on considère généralement que si le haut débit est celui qui permet les usages actuels avec un bon niveau de confort, le très haut débit est celui qui permet d'envisager des applications nouvelles, fortement multimédias et interactives. Il se dégage aujourd'hui un certain consensus autour du débit de 100 Mbit/s, même si ce chiffre est bien entendu voué à varier suivant les offres commerciales et à évoluer dans le temps. Le fait que le débit soit symétrique, ou a minima « moins asymétrique » qu'avec l'ADSL, est également un critère important à prendre en considération.

6. L'acronyme FTTx (Fiber To The ...) désigne la famille des réseaux de desserte utilisant la fibre optique. La variable x désigne le point de terminaison de la fibre : il peut s'agir du logement (on parle alors de FTTH, Fiber To The Home), du pied d'immeuble (FTTB, Building), de l'armoire de rue (FTTC, Cabinet)...

Aménagement numérique : accompagner le haut et le très haut débit au cœur des territoires

■ Les acteurs et les enjeux

Parallèlement à ces évolutions majeures en matière d'usages et de technologies, le jeu des acteurs a lui aussi profondément changé au cours des dix dernières années.

En 1996, France Télécom devient une société anonyme. Quelques mois plus tard, l'ouverture à la concurrence permet à des opérateurs alternatifs de commercialiser des offres, en passant par leurs propres infrastructures ou en utilisant celles de France Télécom, louées dans le cadre du dégroupage pour l'ADSL.

Répondant légitimement à des objectifs de retour sur investissement, tous les opérateurs, historiques ou alternatifs, sont naturellement amenés à installer en priorité leurs équipements dans les zones denses où les

distances sont courtes et les clients nombreux. Les habitants et les entreprises des territoires moins attractifs pour les opérateurs disposent des services plus tard, et la plupart du temps n'ont qu'un choix d'offres limité. Ce phénomène de déséquilibre entre les territoires, qui apparaît pour le grand public avec l'ADSL – c'est-à-dire au moment où la disponibilité territoriale d'une offre dépend de l'investissement dans de nouveaux équipements et infrastructures sur le territoire considéré – peut être contrebalancé par une intervention publique adaptée, capable de faciliter l'investissement dans les équipements et infrastructures en question.

Les besoins en réseau de fibre optique, par exemple, se situent aujourd'hui au niveau de la collecte en zones rurales (les zones denses étant déjà équipées, comme expliqué précédemment), et au niveau de la desserte partout sur le territoire. Or, les investissements des opérateurs se concentrent dans les zones denses, seules à même d'assurer un retour sur investissement dans un délai raisonnable.

Hors action publique, les évolutions techniques des réseaux de communications électroniques – introduction de la mobilité et du très haut débit – ont peu de chances de s'étendre dans des délais raisonnables au-delà des grandes agglomérations suffisamment rentables.

Enjeux d'une intervention publique

Alors même que certains territoires, trop éloignés des répartiteurs téléphoniques, ne disposent encore aujourd'hui d'aucune offre haut débit dans une gamme de tarifs raisonnables, le risque est de voir se multiplier demain les lignes de fractures numériques : certains territoires disposeront du très haut débit, de la mobilité et d'un large choix de fournisseurs de services, d'autres n'auront accès qu'aux offres haut débit fixe d'un seul opérateur, et quelques-uns n'auront toujours accès à rien.

Afin de limiter l'ampleur et la durée de ce phénomène, source supplémentaire d'inégalités entre les territoires, une intervention publique est nécessaire. Les acteurs publics sont en effet en mesure, par différentes actions, de créer des conditions économiques favorables pour accompagner la diffusion des offres sur les territoires (cf. encadré « Complémentarité des acteurs : l'expérience du dégroupage »).

Cette action publique, portée par les collectivités avec l'appui de l'État, doit répondre à trois grands enjeux :

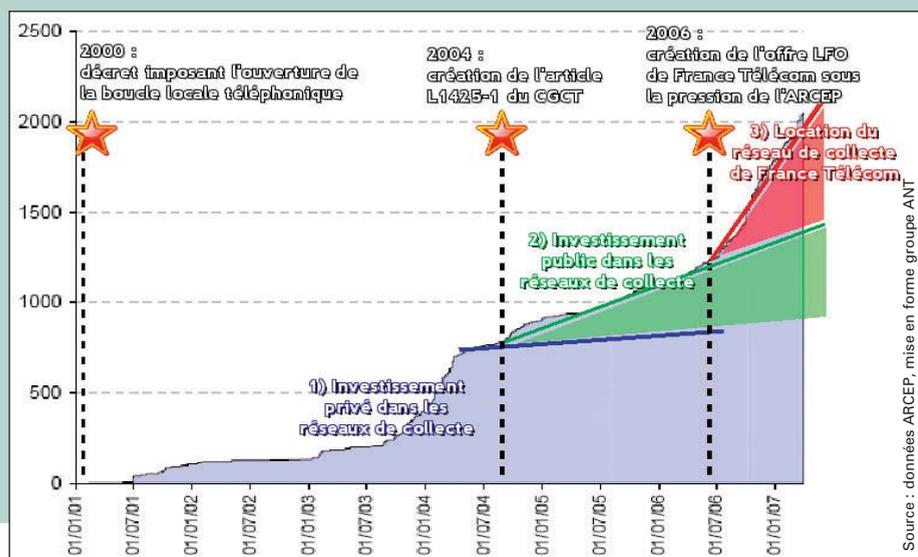
- couverture : résorber les zones blanches, en assurant la disponibilité pour tous d'un service de connexion permanente à un tarif raisonnable et avec un débit suffisant pour les usages de base ;
- concurrence : développer la diversité des offres, garante de performance technique et tarifaire ;
- innovation : favoriser l'évolution vers le très haut

Complémentarité des acteurs : l'expérience du dégroupage

L'expérience du dégroupage illustre bien les effets possibles de l'action publique. Réellement commencé en 2002, le dégroupage des répartiteurs téléphoniques a commencé à ralentir début 2004, avec l'épuisement du gisement des zones les plus rentables. Après l'été 2004 et l'introduction de l'article L1425-1 dans le Code général des collectivités territoriales (cf. § « Actions des collectivités »), la construction de réseaux d'initiative publique permet d'étendre le dégroupage à davantage de territoires, en réduisant le coût de la collecte des répartiteurs par les opérateurs alternatifs. Mi-2006, une offre de location des fibres optiques du réseau de collecte de France Télécom – mise en place sous la pression de l'ARCEP – donne un nouveau coup d'accélérateur au dégroupage.

L'extension du dégroupage sur le territoire national aura ainsi été le fruit de la complémentarité entre l'initiative privée, l'investissement public dans des infrastructures neuves, et la mobilisation régulée d'infrastructures existantes (figure 3).

Figure 3 Effets de l'intervention publique sur le nombre de répartiteurs dégroupés  
Effects of public action on the number of unbundled distributors



débit et la mobilité, ainsi que l'arrivée de nouveaux acteurs pour poursuivre la dynamique créée dans les services et les usages.

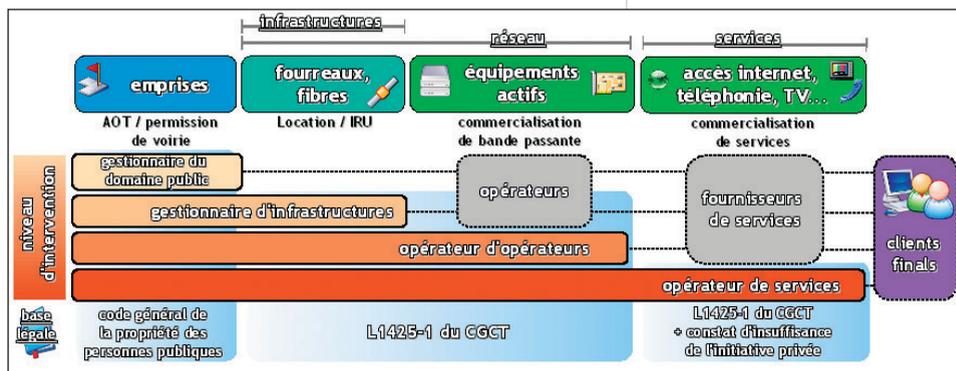
### Actions des collectivités

L'article L 1425-1 du Code général des collectivités territoriales, introduit en 2004 par la loi pour la confiance dans l'économie numérique, ouvre aux collectivités territoriales et à leurs groupements la possibilité d'intervenir dans le domaine des réseaux de communications électroniques afin de pallier un éventuel déficit d'offres privées sur les territoires. Il les autorise à établir un réseau en vue de le mettre à disposition d'opérateurs ou de l'exploiter directement pour fournir de la bande passante ou des lignes abonnés à des fournisseurs de service, voire fournir un accès à l'utilisateur final en cas d'insuffisance d'initiative privée (figure 4).

C'est dans ce cadre que des collectivités, conseils généraux ou communautés d'agglomération en règle générale, lancent des projets d'établissement de réseaux de collecte optique irriguant leur territoire, reliant les bassins de vie (agglomérations, zones d'activités) et interconnectant les nœuds des réseaux des opérateurs (répartiteurs téléphoniques de France Télécom, points de présence des différents opérateurs...). C'est également dans ce cadre que des démarches, visant à éliminer des zones blanches sur leurs territoires, sont initiées par des conseils généraux ou des communautés de communes, suivant différents montages contractuels, et en se basant souvent sur des technologies hertziennes (Wi-Fi et assimilés). Fin août 2007, l'ARCEP dénombre ainsi 85 projets de réseaux d'initiative publique<sup>7</sup>, dont plus de quarante en cours de déploiement, pour un montant total de l'ordre du milliard d'euros.

Sans même faire appel à ces compétences nouvellement acquises dans le domaine des réseaux de communications électroniques, les collectivités disposent également de possibilités d'agir via leurs activités plus traditionnelles. Ainsi, dans la mesure où les fourreaux sont la plupart du temps enfouis sous le domaine public routier, le rôle de gestionnaire de voirie offre aux communes et départements une porte d'entrée dans l'aménagement numérique. Elles peuvent également mobiliser et gérer un patrimoine d'infrastructures permettant l'accueil de réseaux. Ces possibilités d'action sont particulièrement importantes car le génie civil représente le principal poste de dépense dans la création des réseaux.

7. Ne sont comptabilisés ici que les projets de RIP portant sur des territoires comptant plus de 60000 habitants



### Action de l'État

L'État est quant à lui présent dans un double rôle. D'une part il accompagne les démarches et projets des collectivités. À titre d'exemple, on citera le plan de résorption des zones blanches du haut débit, lancé en juillet 2006 et piloté par la DIACT. Ce plan consiste en une aide opérationnelle, matérialisée par un guide pratique publié par la DIACT à destination des petites collectivités<sup>8</sup>, couplée à une aide financière de l'État accordée sur les projets de réseaux visant à éliminer des zones blanches.

D'autre part et de manière plus générale, l'action de l'État vise à mettre en place un cadre favorable au développement du haut et très haut débit. Le ministre de l'Industrie a ainsi lancé en novembre 2006 un plan d'action pour le très haut débit<sup>9</sup>. Cet ensemble de quinze mesures a pour objectif de faciliter le déploiement du très haut débit en France, notamment par des efforts sur le câblage des immeubles ou encore par une amélioration des conditions d'accès aux infrastructures existantes. Un objectif ambitieux a été fixé : 4 millions d'abonnés au très haut débit en 2012.

Ces actions s'articulent avec la régulation du marché du haut débit et du très haut débit, domaine de l'ARCEP, autorité de régulation au rôle clé dans un secteur encore en pleine transition concurrentielle. Sa position équilibrée et ferme sur la mise en place du dégroupage<sup>10</sup>, visant à favoriser l'investissement des alternatifs dans les infrastructures, a permis le formidable développement du haut débit que notre pays connaît depuis cinq ans. Sur le très haut débit, elle a affirmé sa volonté de favoriser la mutualisation des infrastructures de génie civil, sur le domaine public comme dans les immeubles<sup>11</sup>.

8. Voir [http://extranet.ant.cete-ouest.equipement.gouv.fr/article.php3?id\\_article=68](http://extranet.ant.cete-ouest.equipement.gouv.fr/article.php3?id_article=68)

9. Voir [http://extranet.ant.cete-ouest.equipement.gouv.fr/article.php3?id\\_article=156](http://extranet.ant.cete-ouest.equipement.gouv.fr/article.php3?id_article=156)

10. Voir le dossier Dégroupage sur le site de l'ARCEP : <http://www.arcep.fr/index.php?id=8649>

11. Voir le dossier FTTH sur le site de l'ARCEP : <http://www.arcep.fr/index.php?id=8650>

Figure 4

Les différents niveaux d'intervention possibles pour les collectivités  
*The various possible levels of action for local government*

## Aménagement numérique : accompagner le haut et le très haut débit au cœur des territoires

Photo 1

Pose de fourreaux et chambres de tirage  
*Laying ducts and draw pit chambers*



© Groupe ANT

### ■ Modalités d'action sur les infrastructures

Le principal obstacle au déploiement du réseau d'un opérateur sur un territoire est naturellement le coût de ce déploiement. Or la majeure partie de l'investissement correspond aux infrastructures passives : pose de fourreaux et chambres pour les réseaux filaires, pylônes et autres points hauts pour les réseaux hertziens, aménagement de locaux techniques (photo 1). Ainsi, par exemple, dans le scénario de la création d'un réseau optique *ex nihilo*, le coût du génie civil nécessaire à la pose des fourreaux représente généralement de l'ordre de 70 à 80 % de l'investissement total, avec un coût moyen autour de 100 euros du mètre.

Par ailleurs, les infrastructures d'accueil se situent à l'interface avec le domaine public, maîtrisé par les collectivités. Enfin, la disponibilité d'infrastructures est la condition *sine qua non* de l'établissement d'un réseau. Pour ces raisons, l'approche par les infrastructures constitue un levier important pour les collectivités souhaitant favoriser le déploiement du haut débit sur leurs territoires. Les communes, groupements de communes et départements disposent là de moyens d'action dont les effets peuvent être décisifs.

Au-delà des zones les plus denses, les opérateurs déploieront en priorité le très haut débit dans les zones où des infrastructures seront disponibles. À Montpellier par exemple, le déploiement progressif d'un patrimoine de fourreaux, à l'occasion des différentes opérations d'aménagement urbain, permet aujourd'hui à Free d'annoncer au terme d'un accord avec la communauté d'agglomération un projet de 60 000 foyers et bureaux desservis en fibre optique.

En matière de réseaux sans fil, qu'il s'agisse d'apporter des services nomades ou d'éliminer une zone blanche,



Source : Nantes Métropole

Figure 5

Exemple de SIG pour les réseaux de communications électroniques

*Example of GIS for electronic communication networks*

la première difficulté est de trouver des points hauts, bien placés en fonction de la zone à couvrir, alimentés électriquement, et facilement reliables aux réseaux de collecte.

Ainsi, sans nécessairement aller jusqu'à endosser le rôle d'opérateur d'opérateurs ouvert par l'article L1425-1 du CGCT, chaque collectivité est en mesure, à son échelle, et en collaboration avec les différents gestionnaires de réseaux, aménageurs, maîtres d'œuvre et entreprises intervenant sur son territoire, de favoriser l'aménagement numérique de son territoire, par des actions au niveau des infrastructures. Cinq mesures clés sont présentées ci-après ; l'objectif n'est pas d'être exhaustif mais de mettre en exergue les principales actions pouvant avoir des effets importants.

### Intégration d'un volet « infrastructures d'accueil de réseaux de communications électroniques » dans le système d'information géographique

Une telle action permet de disposer d'une connaissance fiable, à jour et diffusable de la disponibilité des infrastructures sur le territoire. La collectivité est ainsi en mesure d'indiquer à un opérateur de quelles infrastructures il pourra disposer pour relier un point A à un point B, et lesquelles seront à construire. Bien entendu, cette action repose sur la mise en place préalable d'un SIG « réseaux » au niveau de la collectivité. Pour que les données d'un tel SIG soient aussi complètes, précises et à jour que possible, il est indispensable de mettre en place une collaboration efficace entre la collectivité, les gestionnaires des différents réseaux et les

entreprises de travaux qui réalisent les modifications des infrastructures (figure 5).

### Définition d'un schéma directeur des infrastructures haut débit

En établissant un schéma directeur en lien avec une stratégie d'aménagement numérique, la collectivité définit l'architecture cible des infrastructures (et donc des réseaux) sur son territoire.

Pour être efficace, le schéma directeur devrait a minima indiquer quel type d'intervention la collectivité prévoit (aucune, coordination de travaux, pose d'infrastructures d'accueil, déploiement de réseau dans le cadre de l'article L1425-1) et à quels endroits (pôles urbains, zone rurale, niveau collecte, niveau desserte, etc.).

L'existence d'une stratégie transcrite dans un schéma directeur bénéficie à la collectivité, aux opérateurs, mais aussi aux acteurs de l'aménagement de manière plus large. Pour la collectivité, le schéma directeur permet une meilleure prise en compte de la question des réseaux haut débit dans les différentes actions : coordination de travaux, intégration aux démarches de planification urbaine... Pour les opérateurs, disposer d'une connaissance de ce que souhaite et prévoit la collectivité est un atout évident leur permettant de réaliser leurs déploiements de façon cohérente et durable. Pour les autres acteurs aménageant le territoire (maîtres d'œuvre, entreprises de travaux, collectivités d'autres niveaux...), la disponibilité d'un schéma directeur permet une meilleure intégration de la question des infrastructures haut débit dans leurs propres projets.

Le schéma directeur permet ainsi l'émergence de synergies entre les projets des acteurs du territoire, et donc des démarches plus cohérentes et plus durables que la conduite de projets au fil de l'eau, sans concertation et information mutuelle.

### Mise en place d'un guichet unique

Pour les opérateurs, une des difficultés est la multiplicité des interlocuteurs lorsqu'il s'agit de venir établir un réseau sur un territoire. En se regroupant à la fois fonctionnellement (en regroupant les informations et les démarches derrière une interface unique) et géographiquement à une échelle pertinente, les collectivités facilitent le travail des opérateurs et contribuent à diminuer les délais de déploiement.

Par ailleurs, ce regroupement permet aux collectivités de disposer de pouvoirs d'influence et de négociation plus importants que si elles restent isolées (ou regroupées à des échelles trop réduites) : un opérateur sera plus disposé à discuter et à consacrer du temps et de l'énergie à une structure représentant une population suffisante.

### Coordination et mutualisation

En incitant les différents constructeurs de réseaux enfouis (eau, gaz, électricité, téléphone, fibre optique) à se regrouper dans des opérations de travaux partagées, la collectivité permet à l'ensemble des acteurs de réaliser des économies, sur le coût direct des travaux, mais aussi sur leurs impacts (gêne aux riverains, impact sur l'état de la voirie). Par ailleurs, elle peut elle-même participer à cette mutualisation – et non plus seulement l'animer – en procédant à la pose de fourreaux en réserve, qu'elle mettra par la suite à disposition des opérateurs. Ceci peut se faire dans le cadre d'opérations ponctuelles (travaux sur une rue) ou de programmes plus larges (viabilisation d'une nouvelle zone résidentielle, aménagement d'une zone d'activités...).

La communauté urbaine de Lyon, par exemple, a mis en œuvre une politique de création d'un réseau d'infrastructures mutualisé : dans toute opération d'aménagement (voies nouvelles, création de zones d'activités, etc.), le maître d'ouvrage de l'opération pose des infrastructures destinées à accueillir les réseaux de communications électroniques. Ces infrastructures sont dimensionnées afin de permettre l'accueil de plusieurs opérateurs. Une quinzaine d'opérateurs ont ainsi signé une convention avec la collectivité.

La mutualisation intéresse également les réseaux sans fil : incitation au partage de pylônes, intégration de possibilités d'accueil d'équipements radio sur le mobilier urbain...

De leur côté, les gestionnaires de réseaux et leurs maîtres d'œuvre ont tout intérêt à intégrer la question de la coordination et de la mutualisation en amont de leurs études de projets, car plus les opportunités sont identifiées rapidement, plus il est simple de les exploiter (adaptation du montage juridique et financier de l'opération, cohérence des choix techniques, etc.).

### Génie civil allégé

Dans certains cas, en particulier lorsque l'utilisation d'infrastructures existantes n'est pas possible, le coût du génie civil peut être réduit sensiblement en utilisant de nouvelles techniques, dites de « génie civil allégé ». Figure de proue de ces techniques, la tranchée de faibles dimensions (micro- ou mini-tranchée, d'une profondeur d'environ 40 cm et d'une largeur comprise entre 5 et 30 cm) part de deux postulats simples : (1) tous les réseaux n'ont pas besoin d'être enfouis très profondément; (2) une tranchée moins profonde et moins large est moins coûteuse (photo 2).

Plusieurs entreprises de travaux ont développé leurs



Photo 2

Une tranchée à faibles dimensions

A small-sized trench

© DDE 42

## Aménagement numérique : accompagner le haut et le très haut débit au cœur des territoires

propres procédés pour la réalisation de micro-tranchées. À l'heure actuelle, il n'existe pas de norme encadrant la micro-tranchée, et notamment les conditions de remblaiement de ces excavations, déterminantes pour garantir la bonne conservation du domaine public routier. L'absence de norme a notamment pour effet de compliquer l'intégration de ces techniques dans les règlements de voirie des collectivités. Un processus de normalisation nationale est toutefois en cours, alimenté notamment par différentes études conduites par plusieurs organismes techniques du ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables. Ces travaux devraient aboutir à une norme validée courant 2008. Parallèlement, le Certu<sup>12</sup> prépare un guide technique et administratif sur les microtranchées; il sera publié également en 2008<sup>13</sup>.

### ■ Une prise de conscience nécessaire à la compétitivité nationale

À travers ces cinq exemples d'actions orientées sur les infrastructures, il apparaît que la mobilisation des acteurs publics sera d'autant plus efficace qu'elle associera les maîtres d'œuvre, les gestionnaires de réseaux divers, et les entreprises de travaux.

Il est donc indispensable de sensibiliser l'ensemble des acteurs; c'est d'autant plus important que les réseaux de communications électroniques ont longtemps été le domaine exclusif d'un acteur unique – l'opérateur historique. L'évolution du cadre juridique et du jeu des acteurs amène des intervenants dont ce n'était auparavant ni le rôle ni le métier à contribuer aujourd'hui à l'aménagement numérique des territoires.

Une prise de conscience large, associée au développement de nouveaux réflexes permettant d'introduire les réseaux numériques dans toutes les démarches d'aménagement du territoire, permettra à la France de rester parmi les pays d'Europe les mieux équipés en matière de réseaux de communications électroniques.

À l'heure où la compétitivité des territoires s'évalue à l'échelle mondiale, il s'agit en outre de ne pas se laisser distancer par les États-Unis ou les pays d'Asie qui ont déjà pris de l'avance sur le chantier du très haut débit. ■

12. Centre d'études sur les réseaux de transport et l'urbanisme – Le Certu est un service technique du ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables

13. Pour plus de précisions sur les tranchées, voir dans cette même revue, l'article de M. Antoine Leroux « Les tranchées, pourquoi et comment ? »

### ABSTRACT How to support the spreading of high speed and very high speed internet into territories

S. Le Dû, G. Mellier

*Day after day, internet and digital communication in general become more and more important in everyday life and business. In response to the evolution of uses, access networks bandwidth grew from a few kilobits to several megabits in only a few years. However the growth was not equally spread across the regions : while telcos' investments focus on the most profitable areas, some areas are still longing for broadband internet. With the growing needs for digital connectivity, leading operators to introduce technologies alternative to DSL for very high speed and mobile internet, public authorities are working to bridge digital divides. As passive infrastructures are especially expensive, they are to be addressed with special care. It is therefore essential to make all stakeholders aware of the issue : contracting authorities, as well as engineering offices and public work companies. A wide awareness will make for the inclusion of digital networks in all town and country planning, in favour of regional competitiveness and balance.*

### RESUMEN ESPAÑOL Ordenación digital : acompañar la alta y muy alta velocidad en pleno centro de los territorios

S. Le Dû y G. Mellier

*Cada día, Internet y la comunicación de datos digitales en general esta presente cada vez más en la vida diaria de los ciudadanos y de las empresas. Frente a la evolución de las utilidades, las redes de acceso han pasado en algunos años de una velocidad de algunos kilobitios hasta varios megabitios por segundo. Pero todos los territorios no son iguales : mientras que los esfuerzos de los operadores se concentran en las zonas más rentables, ciertos territorios permanecen ilegibles para la alta velocidad. En un momento en que el aumento de las necesidades de conectividad necesita mayor densidad, llevando a los operadores a preparar el despliegue de tecnologías alternativas al ADSL, para la muy alta velocidad y la movilidad, los actores públicos se movilizan para reducir las fracturas digitales. Entre sus acciones, aquellas que se refieren a las costosas infraestructuras pasivas son determinantes; por consiguiente, es indispensable sensibilizar a todos los actores, empresas contratantes así como las oficinas de estudios y empresas de trabajos. Una larga conciliación deberá permitir la introducción de las redes digitales en todos los enfoques de ordenación, para la competitividad y el equilibrio de los territorios.*

# Covage apporte le haut-débit à l'Hérault



**Clément Verhille**  
Directeur  
du développement  
VINCI Networks

**Réunissant VINCI Networks et son partenaire canadien Axia depuis novembre 2006, la société Covage est l'un des leaders français de l'aménagement des réseaux à haut-débit d'initiative publique. En août dernier, le conseil général de l'Hérault lui a attribué la délégation de service public sur 22 ans du réseau départemental, Num'Hérault, qui doit être opérationnel à la rentrée 2009.**

La fibre optique a le vent en poupe. En témoigne la course à laquelle se livrent actuellement les opérateurs Free, Neuf Cegetel, Orange et Numéricâble pour « fibrer » Paris et quelques villes de province, et la poursuite de l'aménagement des réseaux à haut-débit entrepris en région par les collectivités pour répondre à des besoins et à des demandes grandissants (cf. encadré « Les réseaux de fibre optique grand public, chantier des dix prochaines années »). Pour Covage, l'un des leaders du déploiement de réseaux d'initiative publique, qui réunit depuis novembre 2006 VINCI Networks (VINCI Construction France) et l'opérateur canadien Axia, cette dynamique n'est pas une nouveauté.

« Depuis la création de VINCI Networks en 2001, nous répondons en fait à des appels d'offres de collectivités de plus en plus nombreux pour des marchés de travaux, la conception-construction, l'affermage, l'exploitation de réseaux à haut-débit et de façon de plus en plus significative pour des projets en délégation de service public (DSP) intégrant conception, construction et exploitation technique et commerciale », indique Clément Verhille, le directeur du développement de VINCI Networks, qui souligne à titre d'illustration de cet essor que « l'effectif de la société a triplé sur les 18 derniers mois et qu'une douzaine d'affaires, dont un PPP, sont en cours de négociation au début de l'automne 2007 ».

## ■ Une délégation de service public de 22 ans

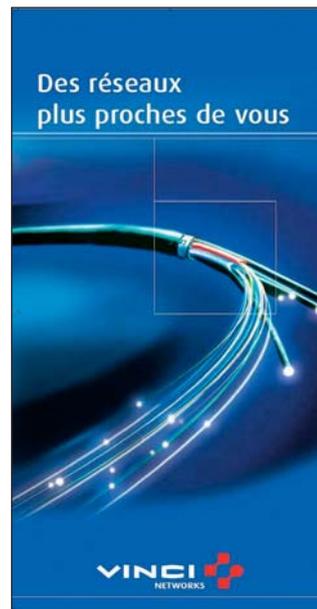
Dernier en date des quelque 14 projets remportés par la société depuis 2001 : le réseau à haut-débit de l'Hérault, plus familièrement connu dans le département sous le nom Num'Hérault. Cette convention de DSP de type concessif (le délégataire se rémunère sur son activité commerciale), d'une durée de 22 ans, a été signée le 6 août dernier entre le conseil général et le groupement mené par Covage avec Sogetrel et LDC. Le réseau devra être déployé dans un délai de 24 mois, soit une livraison finale à la rentrée 2009, puisque l'é-

tape initiale d'avant-projet sommaire (APS) s'engageait tout juste à la fin septembre après la création de la société délégataire.

« Le cahier des charges du projet mettait principalement l'accent sur trois exigences, poursuit Clément Verhille : la couverture des zones blanches, le développement d'une concurrence entre opérateurs et le développement économique. »

Sur ces trois points, l'offre proposée s'est attachée à répondre aux attentes en s'engageant sur un taux de couverture global en 2 Mbps de 98,20 % et de 97 % pour les entreprises, et sur le raccordement de sites publics (mairies, établissements d'enseignement, etc.) et de 189 zones d'activité.

L'infrastructure réseau, qui sera mise en chantier début 2008, totalisera 983 km, dont près de la moitié (446 km) pour le backbone, l'artère principale, qui décrira une large boucle au centre du département et nécessitera des travaux de génie civil (non attribués à ce jour). Pour les 537 km restants, la fibre optique sera soit supportée par les câbles de réserve des lignes à haute tension de RTE (Réseau de transport d'électricité), notamment dans le Nord-Est montagneux du département, soit déployée dans des fourreaux existants le long du littoral et de l'autoroute A75. La fibre optique parviendra ainsi jusqu'à 102 NRA (nœuds de raccordement abonnés de France Télécom), où les opérateurs Free, Neuf Cegetel, etc. pour le grand public, et Colt ou Compléte! pour les entreprises pourront installer leurs équipements et faire jouer la



## Les réseaux de fibre optique grand public, chantier des dix prochaines années

L'altération des capacités de transfert au-delà d'une certaine distance de raccordement au NRA de France Télécom et le principe d'asymétrie<sup>1</sup> font de l'ADSL une technologie inapte à réduire la fracture numérique et à répondre à la réalité des usages. Aujourd'hui, les transferts sont en effet de plus en plus lourds et aussi importants en émission qu'en réception (jeux vidéos en ligne, fonctionnement des blogs, transferts d'images et de données...). Face à cette évolution et aux besoins créés par la convergence, qui associe en un même service téléphone, Internet et télévision, la fibre optique a l'avantage d'une capacité et d'une durée de vie illimitées<sup>2</sup>.

Conjuguée à des technologies complémentaires comme la voie hertzienne (Wi-Fi, Wi-Max), le courant porteur en ligne (CPL), etc., la fibre optique s'impose comme technologie de l'avenir. Un avenir proche qui verra les réseaux se prolonger jusqu'aux habitations, aux entreprises et aux services publics, et où Covage entend continuer à jouer son rôle aux côtés des collectivités.

1. Dans l'ADSL, la capacité de la bande descendante (réception) est supérieure à celle de la bande ascendante (émission).

2. Les limites de capacité des réseaux de fibre optique sont jusqu'à présent celles de leurs équipements. Un record provisoire de débit a été enregistré à 2,5 Tb/s en mars 2006.

## Covage apporte le haut-débit à l'Hérault

### L'attractivité ne peut pas aller sans compétitivité

Francis Cros, conseiller général du canton de la Salvétat et responsable du projet au Conseil général :

« L'Hérault, qui accueille chaque mois entre 1000 et 1500 personnes est l'un des départements français qui connaît la plus forte croissance. Or l'attractivité ne peut pas aller sans la compétitivité, et ce dynamisme démographique doit trouver son reflet dans tous les domaines, notamment l'emploi, l'éducation, l'environnement et les équipements.

Sur ce plan, l'un des premiers besoins des entreprises – et l'une des premières demandes des citoyens – pour s'installer ou pour rester, c'est de disposer du haut-débit. L'ADSL laisse en effet subsister de trop nombreuses zones blanches dans les communes rurales, qui sont nombreuses dans notre département.

À l'origine du projet de réseau, il y a environ quatre ans, il y a eu une volonté forte, en particulier de la part d'André Vezinhet, le président du conseil général, de lutter contre la fracture numérique et de proposer le haut-débit à hauteur de 2 Mbps en tout point du territoire. Avec Num'Hérault, 338 communes sur 343 seront raccordées par fibre optique, complétée quand c'est nécessaire par d'autres technologies comme le Wi-Max.

Pour les cinq communes restantes, des engagements ont été pris pour trouver rapidement des solutions, car il n'est pas question de laisser quelqu'un sur le bord du chemin. Après un travail long et difficile (un premier projet de DSP a échoué voici deux ans et demi), nous sommes en train d'arriver à nos fins car le réseau que nous allons mettre en chantier début 2008 sera à la pointe de la modernité. »

Photo 2

La fibre optique sera déployée sur le réseau RTE sur 247 km, principalement en zone montagneuse. Un automate « lancé » depuis un pylône, enroule la gaine contenant la fibre optique autour du câble de réserve, qui ne transporte pas d'électricité

*Optical fibre will be deployed on the RTE rail network over 247 km, chiefly in mountainous areas. An autonomous robot "launched" from a pylon winds the tubing containing the optical fibre around the spare cable, which transports no electricity*



concurrence. Au-delà de ces NRA, la couverture du département sera assurée par voie hertzienne grâce à 32 stations Wi-Max raccordées au backbone. La ville de Montpellier, qui compte à elle seule 230000 habitants et qui possède déjà sa boucle locale, sera à terme raccordée au réseau.

« Par rapport à d'autres réseaux visant le désenclavement comme ceux de la Manche et de la Moselle ou tournés vers le développement économique, comme le Sicoval à Toulouse, ce projet apparaît très équilibré entre démarche d'aménagement du territoire dans la partie montagneuse du département et soutien de la dynamique économique dans le Sud, où sont installées la majorité des entreprises », commente Clément Verhille.

### ■ « Programme valeur ajoutée locale »

Dans sa prestation d'exploitation, Covage s'associe à cet objectif de développement à travers son « programme valeur ajoutée locale ».

« Ce volet de notre activité s'inspire d'un modèle apporté par notre partenaire canadien, Axia, et consiste à créer des liens entre le réseau et le tissu économique local. Nous aidons par exemple des installateurs de matériel informatique à développer des services à forte valeur ajoutée pour leurs clients et à devenir des acteurs du réseau. Là où les opérateurs nationaux apportent la messagerie, la téléphonie sur IP et la télévision sur ADSL, ces acteurs locaux peuvent proposer des offres sur mesure de téléconférence, de transfert ou de mise en sécurité de données ainsi que des services spécifiquement adaptés à certains métiers, notamment dans le secteur de la santé. »

Au-delà de la commercialisation de bande passante, qui reste son cœur de métier, et de ses engagements très forts en matière de maintenance et de garantie de performances dans la durée, Covage s'implique ainsi dans le projet de développement économique que sous-tend tout aménagement de réseau et affirme son positionnement résolument orienté service public. ■

### NUM'HÉRAULT EN BREF

- Délégataire : groupement Covage, Sogetrel, LDC
- Durée de la DSP : 22 ans
- Longueur du réseau : 983 km
- Délai de réalisation : 24 mois
- Livraison prévue : septembre 2009
- Montant du projet : 60 M€



Photos 2 et 3

Pour minimiser les nuisances occasionnées en ville par l'installation en sous-sol des fourreaux destinés à la fibre optique, la société Marais, partenaire de Covage, a développé un procédé innovant, Cleanfast. Celui-ci permet d'ouvrir dans la chaussée une tranchée de 100 mm de large seulement et d'y insérer au fur et à mesure les fourreaux destinés à recevoir la fibre optique. Un deuxième engin intervenant juste après la trancheuse permet de remblayer la tranchée au moyen d'un mortier à prise rapide avant que soit rétablie la couche de roulement. Le rythme de réalisation est de 350 m par jour en centre urbain mais peut atteindre 700 m

*To minimise the nuisances caused in town by the underground installation of cable ducts designed for optical fibre, the Marais company, a partner of Covage, has developed an innovative process, Cleanfast. This process makes it possible to open in the pavement a trench only 100 mm wide and insert in it progressively the cable ducts designed to receive the optical fibre. A second machine operating just after the trencher performs backfilling of the trench with a quick-setting mortar before the wearing course is restored. The rate of work progress is 350 m per day in urban centres, but can be as much as 700 m*

## ABSTRACT

### Covage brings broadband to the Hérault region

Cl. Verhille

*Covage, a joint venture formed by VINCI Networks and its Canadian partner Axia in November 2006, is one of the French leaders in the development of broadband networks for the public sector. Last August, the « Conseil général » (County Council) of the Hérault region awarded it a 22-year delegated public service contract for the departmental network, Num'Hérault, which is due to be operational by the post-holiday resumption in 2009.*

## RESUMEN ESPAÑOL

### Covage aporta la alta velocidad en el departamento del Hérault

Cl. Verhille

*Agrupando a VINCI Networks y su socio canadiense Axia desde noviembre de 2006, la empresa Covage es uno de los líderes franceses de la ordenación de redes de alta velocidad de iniciativa pública. Durante el pasado mes de agosto, la diputación provincial del Hérault ha atribuido a esta agrupación la delegación de servicio público para 22 años de la red departamental, Num'Hérault, que debe estar operativa para el mes de septiembre de 2009.*

## Covage, un leader des réseaux à haut-débit

Créé en 2001 au sein de Sogea (VINCI Construction France), dont les entreprises de canalisations ont pris part aux travaux d'aménagement des premières autoroutes de l'information dans les années 1990, VINCI Networks a développé en direction des collectivités une offre de réseaux clés en main nourrie de la culture de concessionnaire du groupe VINCI.

Depuis novembre 2006, VINCI Networks est associé avec l'opérateur canadien Axia au sein de Covage, société qui détiendra l'ensemble des participations du groupe dans les sociétés délégataires.

Depuis 2001, l'entreprise compte une quinzaine de références, dont le réseau départemental Melis@ (Maine-et-Loire); le réseau de la communauté d'agglomération du Creusot-Montceau (Saône-et-Loire); la boucle numérique d'Arras Networks (Nord); le réseau haut-débit de Caen (Calvados); le réseau haut-débit du Grand-Chalon (Saône-et-Loire), le RHD 57 (réseau haut-débit de la Moselle); le backbone universel de services de la Manche; le réseau Clermont-Communauté (Puy-de-Dôme); le Sicoval Toulouse (Haute-Garonne); le réseau haut-débit Sem@for 77 (Seine-et-Marne).

## Les tranchées, pourquoi

Aujourd'hui, le développement des nouveaux réseaux entraîne immanquablement une augmentation du nombre des tranchées. On constate que la qualité des remblayages n'est malheureusement pas toujours assurée. Cependant cet état de fait n'est pas une fatalité, et il existe des solutions grâce aux outils juridiques et techniques qui sont à disposition des praticiens. Les nouvelles techniques de micro-tranchées commencent à monter en puissance; des normes et des guides sont en cours de préparation sur ce sujet.

On a trop souvent l'occasion de constater dans nos rues et sur nos routes des déformations dues de manière évidente à des tranchées mal remblayées. Les usagers constatent immédiatement ces défauts et, sans être techniciens, en comprennent les raisons.

C'est d'abord l'aspect visuel qui est en cause : on voit nettement le tracé de la canalisation ou du câble, et on constate l'endommagement de la chaussée, notamment pour sa couche de surface. L'utilisateur constatera aussi que ces déformations de surface provoquent des secousses, nuisent au confort du déplacement, engendrent des bruits pour les riverains, retiennent l'eau en cas de pluies.

Mais le technicien sait aussi que ces dégradations vont réduire la qualité de l'étanchéité de surface, permettre aux eaux de pénétrer dans le corps de la chaussée et éventuellement endommager les canalisations. En tout cas, il s'agit d'un échec technique qui finira par avoir des conséquences budgétaires puisqu'il faudra reprendre ces tranchées et/ou renouveler plus rapidement les couches de chaussées, notamment la couche de surface.

### ■ Pourquoi des tranchées ?

Depuis toujours, l'espace public a été utilisé pour recevoir les canalisations, conduites et câbles de toutes sortes. En effet, c'est un espace libre dans les villes, c'est aussi un espace géré collectivement, un espace « public ». De plus, et notamment lorsqu'il s'agit d'un réseau de distribution, c'est évidemment par les rues que l'on accède le plus facilement aux utilisateurs finaux, aux usagers, aux habitants.

Certains réseaux doivent pour des raisons techniques se situer en profondeur : l'assainissement pour assurer la desserte gravitaire des immeubles, l'eau potable afin de conserver une température correcte, le chauffage urbain pour des raisons de sécurité. D'autres réseaux peuvent être accrochés sur des poteaux ou en façade comme l'électricité ou le téléphone. Mais les préoccupations esthétiques qui prévalent aujourd'hui en ville poussent les élus à exiger que les gestionnaires de réseaux enfouissent leurs câbles.

Et il y a de plus en plus de réseaux qui empruntent l'espace public souterrain en raison du développement de nouvelles technologies comme les fibres optiques pour les télécommunications en haut débit, le chauffage urbain, la distribution d'eau glacée.

Ce mouvement est encore accentué par l'ouverture des marchés à la concurrence dans les domaines jusque-là préservés par des monopoles.

### ■ Des solutions alternatives ?

On doit considérer qu'il est impossible de freiner ce mouvement de toujours plus de réseaux à enfouir dans le sol. Et dans un sous-sol encombré ou saturé, est-il possible de développer des solutions alternatives ?

Dans quelques cas des solutions hertziennes pour la distribution d'informations (téléphone, Internet, télévision) sont possibles, mais resteront marginales.

Le développement des réseaux en aérien n'est pas non plus à l'ordre du jour comme expliqué plus haut.

Les techniques de fonçage sont bien maîtrisées, mais ne peuvent être utilisées que dans des cas particuliers. Elles permettent cependant de s'affranchir des questions de remblayage et des problèmes connexes.

Une autre solution existe qui consiste à « ranger » les réseaux dans une galerie visitable. Les réseaux sont alors toujours accessibles, et peuvent être réparés, modifiés, complétés sans intervention sur la chaussée. La galerie multiréseaux<sup>1</sup> est une solution certes plus coûteuse sur le court terme et qui demande une bonne

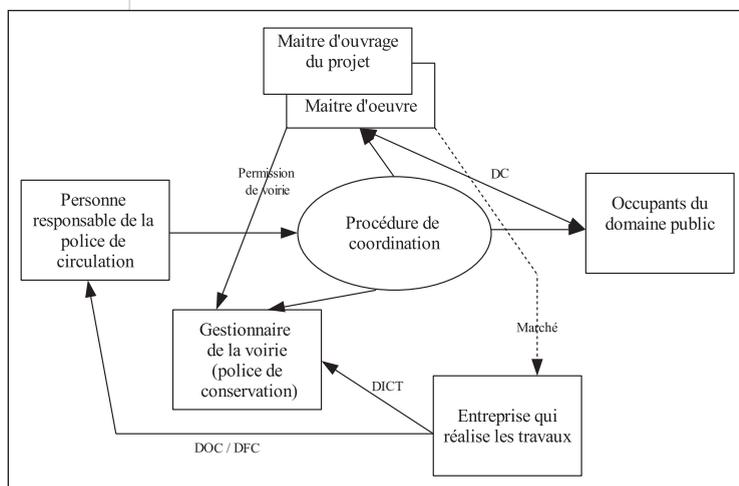


Figure 1

#### Schéma des procédures

La flèche (→) montre l'orientation de la procédure. Ex : la personne responsable de la police de circulation est celle qui doit gérer la coordination de l'ensemble des travaux sur un périmètre défini  
 DOC : déclaration d'ouverture de chantier (start of work statement)  
 DFC : déclaration de fermeture de chantier (end of work statement)  
 DICT : déclaration d'intention de commencement de travaux (statement of intent to start works)  
 DR : demande de renseignement (request for information)

#### Diagram of the procedures

The arrow (→) shows the direction of the procedure. For example : the person in charge of policing traffic must manage coordination of all the works in a defined area

1. Cf. Guide pratique des galeries multiréseaux, groupe Clé de Sol, Techni.Cités, 2005.

# et comment?

**Antoine Leroux**  
Chargé d'études  
Certu (Centre d'études  
sur les réseaux,  
les transports,  
l'urbanisme  
et les constructions  
publiques)

organisation technique et administrative, mais elle résout la question des tranchées ainsi que celle de l'espace disponible puisque les réseaux sont disposés dans les deux dimensions. Mais cette solution, aussi pertinente qu'elle soit, ne pourra pas s'appliquer dans tous les cas, et il faudra bien composer avec les tranchées.

## ■ Tranchées : le cadre juridique

Dans la majorité des cas, conduites ou câbles vont se trouver enfouis dans le domaine public. Il s'agit généralement du domaine public routier qui appartient à l'État (RN, routes nationales), au département (RD) ou à la commune (VC). D'autres maîtres d'ouvrage peuvent être concernés : des regroupements de communes, Réseau Ferré de France, les services de la navigation (VNF) par exemple. Le domaine peut être aussi non-routier, ce qui lui donne un statut différent ; l'espace est en agglomération ou hors agglomération.

Les voies ouvertes à la circulation publique peuvent quelquefois relever du domaine privé de la commune (chemins ruraux).

L'administration publique dispose sur son domaine de deux pouvoirs qui sont bien distincts : le pouvoir de police de conservation du domaine public, et le pouvoir de police de la circulation et du stationnement. Ces deux pouvoirs ne sont pas forcément exercés par la même personne morale : par exemple sur une route nationale non classée à grande circulation, le pouvoir de police de la circulation appartient au maire dans son agglomération, alors que la police de conservation appartient au préfet.

Au titre de la conservation du domaine, il sera établi une autorisation d'occupation du domaine public qui peut revêtir différentes formes juridiques, permission de voirie, contrat de concession, contrat d'affermage, etc. Ces autorisations précisent les conditions de remblaiement des tranchées et de reconstruction de la chaussée. Elles s'appuient généralement sur un règlement de voirie qui fixe les conditions générales d'utilisation de l'espace public.

Au titre de la police de la circulation, l'autorité compétente s'assure de l'organisation de la circulation, des déviations et de l'accès des riverains.

De plus, à l'intérieur de son agglomération, le maire est tenu d'organiser la coordination des travaux, ce qui consiste à provoquer une réunion formelle chaque année avec tous les gestionnaires de réseaux concernés afin de coordonner les travaux<sup>2</sup> (figure 1).

2. Cf. Intervention sur voirie urbaine, Certu – AITF, 2005

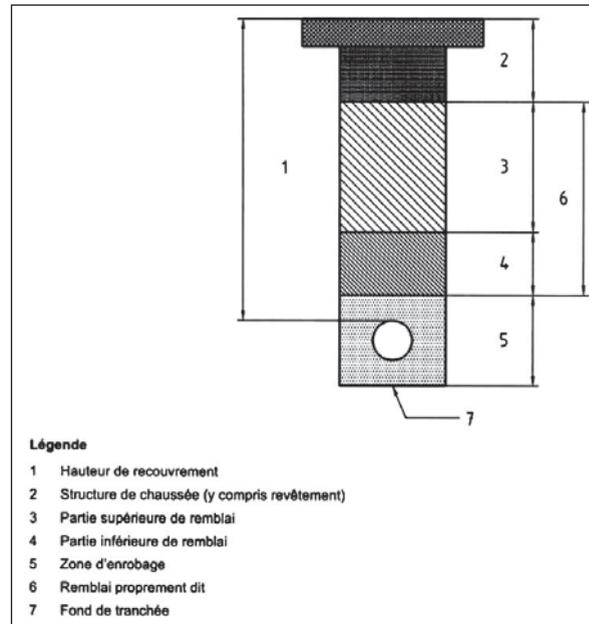


Figure 2

Coupe type  
d'une tranchée

Typical cross section  
of a trench

## ■ Le corpus normatif et les guides techniques

La norme NF P98-331 (nouvelle version révisée de décembre 2004) fixe les conditions d'ouverture, de remblayage et de réfection des tranchées. Le principe général est d'apporter l'énergie de compactage nécessaire pour atteindre une densité suffisante des matériaux de remblaiement. On trouve dans la norme la définition des différentes zones de remblayage, et pour chacune d'entre elles la nature et la dimension des matériaux admissibles et les objectifs de densification en fonction du trafic attendu (figure 2).

Le Sétra a publié en 1994 un guide pour le remblayage des tranchées et la réfection des chaussées. Un complément à ce guide sous forme d'une note d'information a été publié par le Sétra en juin 2007 pour prendre en compte les nouveautés de la norme.

La norme NF P98-332 (décembre 2004) fixe les règles de distance entre les réseaux. On distingue les réseaux parallèles et les réseaux en croisement. Des tableaux donnent dans chaque cas les distances minimums exigées par un réseau vis-à-vis des autres réseaux. Cette même norme donne aussi les distances à respecter entre les réseaux et les arbres.

## ■ Évolutions techniques et nouveaux outils

Depuis quelques années, de nouvelles techniques d'enfouissement des réseaux et de remblayage des tranchées ont été mises au point et se développent fortement

## Les tranchées, pourquoi et comment ?

► aujourd'hui sous la pression de la demande en haut débit. Il s'agit des microtranchées et des remblais auto-compactants.

La norme actuelle (NF P98-332) ne distingue pas les tranchées étroites. Pour pallier ce manque, un groupe de travail s'est mis en place et devrait aboutir à un projet de norme sur les tranchées de petites dimensions dans le courant de l'année 2008. Cette norme (XP P98-333) distinguera les microtranchées de 5 à 15 cm de largeur et les mini-tranchées de 15 à 30 cm. Pour ces deux catégories seront fixées des règles de remblayage en fonction des matériaux utilisés, des trafics et des types de structures de chaussée. En particulier la question de l'utilisation des matériaux auto-compactants pour les remblayages des tranchées sera traitée : dans quelles conditions utiliser les matériaux essorables ou non-essorables, comment s'assurer de la réexcavabilité des tranchées, etc.

Parallèlement, le Certu pilote un groupe de travail sur les microtranchées. Ce groupe prépare un guide qui abordera ces questions sous les aspects administratifs mais surtout techniques : dimension, position, techniques d'ouverture, mode de remblayage, réfection de la chaussée, etc. Ce document est attendu pour 2008. Enfin, un groupe de travail copiloté par le LCPC et le Certu, et auquel participent des professionnels et leurs syndicats est actuellement en place pour préciser les propriétés, les exigences, la caractérisation et les usages des matériaux auto-compactants.

Les deux guides Certu et CIMBéton (les matériaux auto-compactants pour le remblayage des tranchées) seront réédités à cette occasion après mise à jour.

### ■ Conclusion

La quantité de réseaux enfouis sous les chaussées et le nombre de tranchées ne diminuera pas dans l'avenir. Il importe donc de minimiser les inconvénients des tranchées, de préserver l'environnement esthétique et sonore de nos villes, et de limiter les dépenses d'entretien dans un souci de développement durable. On dispose aujourd'hui pour cela d'un ensemble de normes et de guides qui doivent permettre de réaliser des chantiers de qualité et de faire en sorte que les tranchées ne viennent pas compromettre les durées de service des chaussées qui les abritent. Et les documents techniques se préparent pour suivre les évolutions en cours. ■

### ABSTRACT

#### *Trenches, why and how?*

A. Leroux

*The development of new networks is inevitably leading to an increase in the number of trenches. One observes that the quality of back-filling is unfortunately not always ensured. However, this is not inevitable, and there exist solutions thanks to the legal and technical tools available to the practitioners. New micro trenching techniques are starting to acquire momentum; standards and guides are currently being prepared on this subject.*

### RESUMEN ESPAÑOL

#### *Las zanjas, ¿por qué y cómo?*

A. Leroux

*El desarrollo de nuevas redes acarrea inevitablemente un aumento del número de zanjas. Se puede comprobar que la calidad de los rellenos no se lleva a cabo siempre de buena manera. No obstante, esta realidad no constituye una fatalidad, y existen soluciones mediante herramientas jurídicas y técnicas que se encuentran a disposición de los profesionales. Las nuevas técnicas de microzanjas empiezan a alcanzar un buen nivel, diversas normas y guías están actualmente en preparación acerca de este tema.*

# Ligne nouvelle à grande vitesse Londres – Tunnel sous

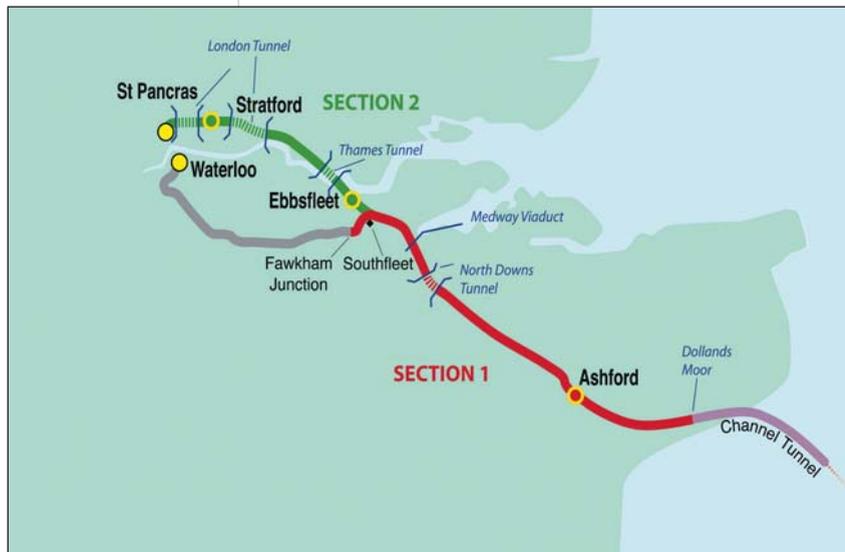


Figure 1  
Carte du tracé  
Map of the route

**L'ouverture de la ligne nouvelle à grande vitesse Tunnel sous la Manche – Londres Saint-Pancras, le 14 novembre 2007, permet de relier Paris à Londres en 2h15, soit un temps de parcours voisin de ceux des liaisons Paris-Lyon ou Paris-Strasbourg. La capitale britannique est également à 1h20 de Lille ou 1h51 de Bruxelles.**

**Baptisée HS1 (High Speed 1) car première ligne à grande vitesse du Royaume-Uni, cette ligne nouvelle était dénommée auparavant CTRL (Channel Tunnel Rail Link). Elle est longue de 109 km et est composée de deux sections, en allant du tunnel vers Londres : CTRL1 (longueur 70 km, V = 300 km/h), déjà ouverte à la circulation depuis 2003 et CTRL2 (longueur 39 km, V = 230 km/h), qui vient d'être achevée.**

## ■ Historique

La mise en service du tunnel sous la Manche et, côté français de la ligne à grande vitesse Paris - Tunnel, a eu lieu en mai 1994.

Côté britannique, les études de faisabilité lancées en 1987 ont permis de projeter divers itinéraires possibles entre le tunnel et Londres Waterloo. Mais, par suite des difficultés que laissait présager la traversée du sud-ouest de Londres, que ce soit en tunnel ou en surface, c'est finalement un tracé passant par l'est et aboutissant à la gare de Saint-Pancras, située au nord de Londres, qui sera choisi en 1991.

En 1992, Union Railway Limited (URL), agence des British Railways, est créée pour conduire les études préalables et préparer le dossier d'appel à la concurrence pour les études, le financement, la construction, l'exploitation et la maintenance de la ligne.

En 1994, quatre consortiums sont invités à soumissionner; trois d'entre eux se sont constitués autour de grandes entreprises du BTP, mais c'est finalement le quatrième, London & Continental Railway (LCR) qui est retenu en 1996.

En 2007, à la suite de diverses réorganisations, les principaux actionnaires de LCR sont : les transporteurs SNCF et National Express, le fournisseur d'énergie EDF Energy, la banque UBS et les sociétés d'ingénierie Bechtel, Arup, Halcrow et Systra.

À la suite de divers problèmes de financement, LCR a proposé de réaliser le projet en deux phases : CTRL1 (70 km) depuis le tunnel sous la Manche jusqu'à proximité de l'agglomération londonienne, puis CTRL2 (39 km) pour traverser l'est de Londres jusqu'à la gare terminale de Saint-Pancras.

La première section, dont les travaux ont commencé en octobre 1998, a été ouverte en septembre 2003, les trains empruntant ensuite les lignes existantes pour arriver à la gare de Waterloo, avec un temps de parcours depuis Paris de 2h35min. La réalisation de la seconde section a quant à elle débuté en 2001, sa mise en service en novembre 2007 autorisant un gain de temps supplémentaire de 20 minutes.

## ■ Les principaux acteurs

À l'intérieur du consortium concessionnaire LCR, les quatre sociétés d'ingénierie Bechtel, Arup, Halcrow et Systra ont constitué le groupement Rail Link Engineering (RLE).

Pour la construction de la ligne, LCR a par ailleurs créé deux sociétés, Union Railway South (URS) et Union Railway North (URN), respectivement en charge des sections 1 et 2.

URS puis URN, chacune en ce qui la concernait, ont confié à RLE l'ensemble de l'ingénierie du projet : études, élaboration des marchés de travaux, management et supervision, essais et mise en service, préparation de l'exploitation et de la maintenance.

Les travaux ont été répartis en lots suffisamment importants pour être confiés à des entreprises expérimentées, et aussi pour réduire les interfaces. Les marchés ont été attribués sur appels d'offres, remportés pour la plupart, en ce qui concerne le génie civil, par les grandes entreprises du BTP opérant sur le marché britannique, dont plusieurs entreprises françaises.

# vitesse High Speed 1 la Manche

Jean-Pierre Orsi  
Directeur Europe  
Systra

Christian Bousquet  
Directeur Expert  
Consultant  
Systra

## ■ Le tracé et les principaux ouvrages

### Généralités

Malgré un relief *a priori* favorable, le tracé a nécessité un nombre important d'ouvrages de génie civil, de types très variés, notamment dans la section 2 et l'agglomération londonienne.

Au total la ligne nouvelle comporte :

- quatre tunnels, dont à un tunnel à double voie de 3 km et trois tunnels bitubes de 20 km au total;
- 17 tranchées couvertes, totalisant une longueur de 3,4 km : elles ont été soit coulées en place en tranchée ouverte, soit avec l'aide de murs en parois moulées ou pieux contigus, soit enfin avec mise en place de voussoirs préfabriqués;
- 60 viaducs ou ponts ferroviaires, de tous types : tabliers mixtes continus à deux poutres métalliques et hourdis béton, tabliers en béton précontraint type caisson (ces deux dernières techniques sont courantes pour les viaducs des LGV françaises), tabliers métalliques, ouvrages divers en béton... et même une dalle sur pieux de 7 km de longueur;
- 62 ponts-routes;
- 30 passerelles;
- quatre gares : Ashford, Ebbsfleet et Stratford (ces deux dernières étant nouvelles) et enfin Saint-Pancras.

Les terrassements ont représenté :

- 14 000 000 m<sup>3</sup> de déblais;
- 5 000 000 m<sup>3</sup> de remblais ferroviaires;
- 7 000 000 m<sup>3</sup> de remblais liés à l'environnement.

Enfin, la voie a nécessité 850 000 t de ballast.

Les tunnels ferroviaires ont pour principale caractéristique leur section d'air, dépendant du nombre de voies et de la vitesse potentielle des trains, et qui est définie après études aérodynamiques.

Les ponts ferroviaires sont conçus quant à eux en prenant en compte notamment, outre les efforts importants appliqués, tant verticaux qu'horizontaux (freinage des trains en particulier) :

- les problèmes d'interaction rail-structure dus à la présence d'une voie en longs rails soudés, qui conduisent en particulier à limiter les longueurs dilatables des tabliers;
- les critères de déformation des tabliers (flèches, rotations, gauchissement...), mais aussi des appuis (déplacements en tête);
- les phénomènes dynamiques de vibration (pour la bonne tenue du ballast et le confort des passagers).

La traversée du Kent, jardin de l'Angleterre, a également nécessité de nombreux travaux liés à la protection de l'environnement : plantation d'arbres, protection de

la faune et de la flore, protections antibruit..., sans oublier le sauvetage de bâtiments historiques et la sauvegarde des vestiges archéologiques mis à jour (figure 1).

### Section 1

Après sa sortie du tunnel sous la Manche, la ligne nouvelle franchit l'autoroute M20 puis se sépare en 2 voies uniques encadrant le faisceau de voies pour trains de fret de Dollands Moor. L'une de ces voies a nécessité la construction du viaduc de Grange Alders.

#### Le viaduc de Grange Alders



Photo 1

Viaduc de Grange Alders

Grange Alders Viaduct

Long de 320 m, il comporte huit travées de portées variant de 31 à 43 m. Les piles atteignent une hauteur de 25 m, le tablier étant une structure mixte acier-béton continue constituée de deux poutres métalliques supportant une dalle en béton armé participante qui, elle-même, porte la voie ferrée. Sa mise en œuvre s'est effectuée par lançage (photo 1).

La ligne suit ensuite le couloir ferroviaire existant, en longeant au sud l'autoroute M20 sur quelques kilomètres, avant de s'en éloigner légèrement jusqu'à la ville d'Ashford. Peu d'ouvrages importants sur cette portion de ligne, si ce n'est deux courtes tranchées couvertes à Sandling Park et Mersham.

Par contre, il faut signaler quelques sauvetages de bâtiments historiques : à Sellindge, une maison du XV<sup>e</sup>, Talbot House, fut démontée et rebâtie plus loin; quelques kilomètres plus loin, une maison du XVI<sup>e</sup> siècle, Bridge House, pesant 450 t, a été soulevée sur

Ligne nouvelle à grande vitesse High Speed 1. Londres - Tunnel sous la Manche

Photo 2

Tranchée couverte de Eyhorne Street  
*Eyhorne Street cut-and-cover tunnel*



Photo 3

North Downs Tunnel  
*North Downs Tunnel*



véris puis ripée, sur des rails, sur une distance de 55 m. Au total 12 bâtiments historiques seront préservés sur le tracé de la ligne nouvelle.

**La gare internationale d'Ashford**

Elle permet la liaison avec les trains rejoignant l'Est et le Nord-Est du Kent.

Sa traversée par les trains à grande vitesse sans arrêt a nécessité d'importants travaux de génie civil, dont un viaduc (estacade) de 1,4 km environ du côté est, et deux tranchées couvertes sous la ville côté ouest, l'une à deux voies et l'autre à quatre voies, construites à l'aide de pieux forés contigus, et d'une longueur totale de 1 km environ.

Au-delà d'Ashford, la ligne nouvelle rejoint l'autoroute M20, la franchit puis la longe, au nord, jusqu'à l'approche du tunnel des North Downs.

Entre Ashford et le tunnel, le tracé a notamment

nécessité quelques tranchées couvertes, de longueur maximale 360 m.

À Westwell Leacon, les voies franchissent l'autoroute M20 (grâce à un ouvrage dont le tablier a été préfabriqué puis lancé au-dessus de cette dernière en une nuit), puis la route A20 avant d'entrer dans une petite tranchée couverte.

À Sandway et Eyhorne, les structures enterrées sont constituées de voussoirs en béton armé préfabriqués puis assemblés à l'intérieur de tranchées ouvertes, avant remblaiement (photo 2).

**Le tunnel des North Downs**

C'est un tunnel à double voie long de 3,2 km; il s'agit du seul véritable tunnel de la section 1, les autres, plus courts, étant en fait des tranchées couvertes. Sa section excavée est de 166 m<sup>2</sup> et sa section intérieure de 96,2 m<sup>2</sup>, permettant la circulation simultanée de deux trains à grande vitesse (photo 3).

Situé hors nappe et supportant une couverture de craie d'épaisseur pouvant atteindre 100 m, il a été foré à partir des deux extrémités en utilisant la nouvelle méthode autrichienne : excavation de la demi-section supérieure, de la demi-section inférieure puis de la contre-voûte.

Le soutènement provisoire est constitué de béton projeté d'épaisseur variant de 150 à 250 mm, de cintres réticulés en demi-section supérieure, de treillis soudé et de boulons scellés.

L'épaisseur du revêtement définitif de la voûte, constitué de béton non armé, a pu être limitée à 350 mm, en tenant compte de la participation du soutènement provisoire à la résistance.

L'étanchéité est constituée d'un géotextile et d'une membrane PVC.

Après le tunnel, la ligne suit l'autoroute M2, avant de franchir la vallée de la rivière Medway, l'un des affluents de la Tamise, grâce à un grand viaduc parallèle aux viaducs autoroutiers.

**Le viaduc sur la Medway**

Viaduc le plus important de la ligne, long de 1250 m, il s'agit d'un ouvrage en béton précontraint constitué de :

- deux ouvrages d'approche, longs respectivement de 384 m (neuf travées) et 554 m (13 travées), dont les travées ont des portées variant de 37 m à 44,5 m; leurs tabliers ont été mis en place par poussage;
- un ouvrage central long de 343 m, avec deux travées de 95 m encadrant une travée centrale de 152 m de portée (record pour un ouvrage TGV) coulé en place selon la technique des encorbellements successifs.

Les problèmes d'interaction rail-structure ont nécessité un découpage longitudinal de l'ouvrage en cinq par-

ties, dont deux travées intermédiaires isostatiques dites « inertes », sur lesquelles sont implantés des appareils de dilatation de la voie.

Le ballast doit quant à lui y être interrompu, grâce des joints dits « coupe-ballast », qui permettent à ce dernier de ne pas se déconsolider lors des mouvements des joints de structure.

Les tabliers sont du type caisson à deux âmes, le tablier du viaduc central étant de hauteur variable.

Le béton utilisé est du B60 sur cubes. La précontrainte mise en œuvre en phase de construction est intérieure au béton et la précontrainte de continuité extérieure.

Les piles ont des hauteurs maximales de 30 m, les deux piles centrales étant en forme de V. Elles sont fondées sur pieux, dont l'exécution a nécessité des précautions particulières, les remblais traversés contenant des déchets d'amiante (photos 4 et 5).

La ligne continue ensuite le long de la M2 et de l'A2, jusqu'aux environs de Southfleet, où une liaison de 4 km a permis à la ligne nouvelle CTRL1 de se diriger vers le sud afin de rejoindre le réseau existant à Fawkham Junction et d'aller jusqu'à Waterloo International, en attendant l'ouverture de CTRL2.

## Section 2

Après Southfleet, la ligne CTRL2 passe en tranchée couverte sous l'A2 avant d'arriver à la nouvelle gare internationale d'Ebbsfleet Station, qui permet également des liaisons domestiques avec le Nord du Kent. La ligne plonge ensuite sous la Tamise grâce à deux tunnels monotubes.

### Les tunnels sous la Tamise

Ils ont une longueur de 2,5 km, un diamètre extérieur de 8,15 m et intérieur de 7,15 m (section d'air 40 m<sup>2</sup>). Ils sont prolongés de chaque côté par une tranchée couverte de 300 m de long. Ils sont reliés par quatre galeries de communication (tous les 665 m environ) de diamètre intérieur 3,5 m ou 4,5 m.

Situés en majeure partie dans la craie fissurée, soumis à des pressions hydrostatiques pouvant atteindre 4,5 bars, ils ont été réalisés à partir de la rive sud de la Tamise à l'aide de deux tunneliers.

Le revêtement est constitué d'anneaux préfabriqués en béton de longueur 1,5 m et d'épaisseur 350 mm, et composés chacun de neuf voussoirs et d'une clé.

Le béton est armé de fibres métalliques, avec ajout de fibres en polypropylène afin d'améliorer la résistance au feu. Les tranchées couvertes d'extrémité ont nécessité la réalisation de plus d'un kilomètre de parois moulées. Après la Tamise, la ligne doit franchir diverses routes et voies ferrées.



Photos 4 et 5  
Viaduc  
sur la Medway  
Viaduct over  
the Medway



Photo 6  
Viaduc  
de Thurrock  
Thurrock Viaduct

### Le viaduc de Thurrock

Parmi les ouvrages réalisés, le viaduc de Thurrock est un ouvrage en béton précontraint de plus de 1 km de long, avec des travées courantes de 45 m. Sa conception est similaire à celle des viaducs d'approche du viaduc sur la Medway.

Mis en place par poussage il a la particularité, en plus des diverses voies franchies, d'avoir dû se glisser sous le pont Elisabeth II M25 (photo 6).

Ligne nouvelle à grande vitesse High Speed 1. Londres - Tunnel sous la Manche



Photo 7  
Tunnelier  
Tunnel boring machine



La ligne aborde ensuite une zone de sols marécageux qui a nécessité la construction d'un ouvrage spécial fondé sur pieux.

**La dalle sur pieux (piled slab)**

La dalle est longue au total d'environ 7 km. Après réalisation des pieux, cette dalle en béton armé a été coulée soit directement sur le sol, soit sur cintre, à une hauteur variant de 0,80 m à près de 5 m. Les pieux peuvent être, soit des pieux circulaires coulés en place, de diamètre 600 à 750 mm, soit des pieux battus en béton de 600 mm.

Les études ont nécessité notamment des calculs d'interaction rail-structure et des calculs dynamiques complexes.

La ligne replonge ensuite sous terre grâce à deux tunnels successifs, situés de part et d'autre (est et ouest) de la gare internationale et domestique de Stratford.

**Les tunnels sous Londres**

Longs respectivement de 10 et 7,5 km, ils sont constitués de deux tubes parallèles à une voie, semblables à ceux sous la Tamise, ( $\varnothing$  extérieur 8,15 m et intérieur 7,15 m). Le tunnel Est a été réalisé en deux lots de 4,7 et 5,3 km.

Les terrains traversés sont constitués d'argile, de sable, d'alluvions et de craie, et sont en général baignés par la nappe phréatique.

Ils sont souvent situés sous des couloirs ferroviaires existants, et comportent des puits de ventilation, servant aussi d'accès de secours, tous les 3 km environ.

Ils ont été forés à l'aide de deux tunneliers par lot (photo 7).

Les principales difficultés rencontrées en cours d'exécution concernent la protection des nombreux aménagements de surface, notamment la nécessité de limiter le plus possible les tassements.

**La gare de Stratford**

Cette gare qui desservira le village des Jeux olympiques de 2012, comporte un bâtiment voyageurs enjambant une enceinte en béton contenant les voies. Elle est longue de plus d'un kilomètre, large de 55 m et profonde de 22 m, ce qui implique de fortes pressions hydrauliques et la mise en œuvre de systèmes de pompage. Cette enceinte a été réalisée en tranchée couverte à l'aide de parois moulées.

La gare dispose d'un embranchement desservant le nouveau dépôt des rames Eurostar de Temple Mills.

La ligne ressort de terre à proximité de Saint-Pancras, juste à l'est de la ligne ferroviaire East Coast Main Line (ECML), qu'elle franchit avant de se diriger vers le sud jusqu'à la gare terminale de Saint-Pancras.

Photo 8  
Viaduc ECML (East Coast Main Line)  
ECML Viaduct

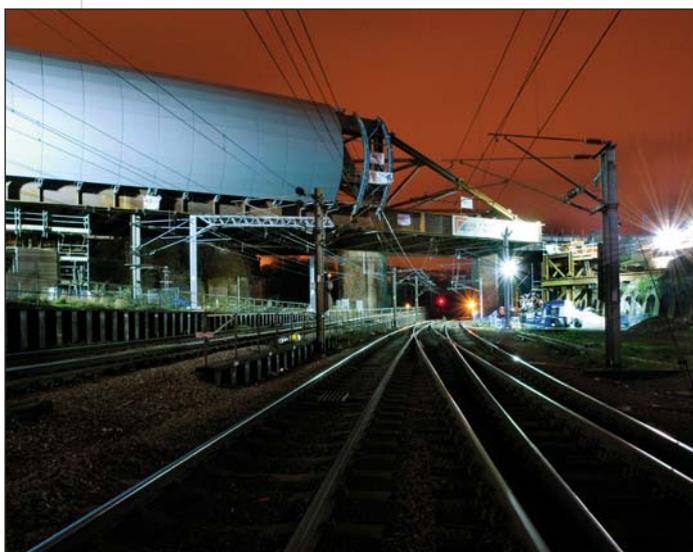


Photo 9  
Ouvrage MML A (Midland Main Line)  
MML A structure



La zone correspondante est très complexe et a nécessité de très nombreux ouvrages d'art parmi lesquels on peut citer :

- le London West Portal, enceinte d'environ 20 x 16 m destinée à accueillir le tunnelier du tunnel ouest de Londres et réalisée à l'aide de pieux forés contigus;
- le viaduc sur l'ECML (East Coast Main Bridge) : il comporte un tablier métallique à poutres latérales, de portée 75 m, mis en place par lancement au-dessus des voies, et est habillé d'une couverture en forme de tube pour des raisons acoustiques;
- les ouvrages MML : tabliers métalliques biais à poutres latérales de portées respectives 40 et 49 m, lancés au-dessus des voies ferrées, puis mis en place sur leurs appuis définitifs par rotation (photos 8 et 9).

Ces travaux ont été rendus très compliqués du fait de l'environnement, de la présence de nombreuses structures existantes qu'il a fallu préserver (comme les ouvrages de la North London Line ou ceux des lignes de métro, tel le tunnel en briques Thameslink datant de 1868), ainsi que des mesures à prendre vis-à-vis d'ouvrages futurs comme les tunnels Thameslink 2000.

### La gare de Saint-Pancras

Inaugurée en 1868, la majestueuse gare en briques rouges de Saint-Pancras est classée monument historique. La grande halle de William Barlow, également classée, abrite les voies et quais qui desservait les Midlands, lesquels sont portés par un réseau de 688 colonnes en fonte. L'ensemble a été complètement rénové et aménagé de manière à permettre à la lumière du jour de pénétrer dans tous les espaces ouverts au public au niveau des quais, comme au niveau inférieur qui correspond à celui de la voirie.

La gare ancienne a été prolongée d'une structure couverte de 350 m afin d'abriter six nouveaux quais internationaux. La construction de cette structure a nécessité le réaligement de la ligne de métro Thames Link, avec construction d'une nouvelle station.

St Pancras International sera desservie à terme par six lignes de métro et sept lignes de trains, notamment les trains à grande vitesse et les trains régionaux empruntant la HS1, les trains desservant la Midland Main Line, ceux de Thameslink Underground. Elle facilitera aussi la connexion avec l'East Coast Main Line de par sa proximité avec la gare de King's Cross. À terme, ce sont environ 45 millions de personnes qui transiteront chaque année par la nouvelle gare (photo 10).

### ■ Les équipements ferroviaires

La conception technique de la ligne à grande vitesse HS1 est pour l'essentiel issue de l'ingénierie française.

Une de ses particularités est d'accueillir un trafic mixte : trains à grande vitesse, trains classiques et trains de fret.

### La voie ferrée

La première section, longue de 79 km, est équipée d'une voie classique sur ballast, avec rails de type UIC 60 et traverses biblocs en béton, semblable à la voie des LGV françaises et notamment du TGV Nord.

La seconde section, longue de 39 km, est pour moitié à l'air libre et équipée de voie ballastée semblable à celle de la première section. L'autre moitié est constituée d'environ 20 km de tunnels en voie unique, équipés de voie sur dalle béton, décrite ci-après.



Photo 10

La gare de Saint-Pancras  
St Pancras Station

Le béton de la dalle supportant la voie est un béton fibré, dosé à 400 kg/m<sup>3</sup> de ciment et 50 kg/m<sup>3</sup> de fibres. Les traverses sont en béton, du type bibloc, équipées d'une coque rigide avec semelle résiliente. Dans les tunnels sous Londres, elles sont conçues pour réduire le bruit et les vibrations.

Les rails UIC 60 ont été livrés en barres élémentaires de 216 m de longueur, qui ont ensuite été soudées en place par soudures aluminothermiques.

La méthode de réalisation était la suivante :

- pose des rails et des traverses, soudures des barres;
- réglage de la voie en plusieurs phases, compte tenu de la très grande précision exigée;
- bétonnage de la dalle, soit à partir d'une centrale de béton à l'emploi, soit à l'aide d'un train béton.

### L'alimentation en énergie

L'alimentation en énergie est faite à partir du réseau national 400 kV. Cette énergie est transformée en

## Ligne nouvelle à grande vitesse High Speed 1. Londres - Tunnel sous la Manche



50 kV (25 kV-0-25 kV) et est distribuée à partir de trois sous-stations, situées respectivement à Choats Road (km 20,1 depuis Londres), Singlewell (km 43,6) et Sellindge (km 98,3).

Sur la ligne nouvelle, le système d'alimentation en courant alternatif 25 kV-0-25 kV 50 Hz utilise des autotransformateurs situés approximativement tous les 5 km en voie courante. Cette distance a été augmentée pour les postes autotransformateurs de Stratford et de Saint-Pancras sur le tronçon CTRL2, du fait de la longueur des tunnels de Londres.

L'énergie 50 kV ainsi transformée est transportée en 2 x 25 kV depuis les sous-stations par la caténaire et le feeder, la tension de 25 kV entre la caténaire et le rail étant la tension sous laquelle l'énergie est transmise au train.

Des sections de séparation de phases sont situées à Saint-Pancras, Singlewell, Detling ainsi qu'à la frontière avec le tunnel sous la Manche, et à l'interface avec le réseau Network Rail connecté à la HS1 à Ripple Lane au kilomètre 20, ceci afin d'assurer la séparation électrique des sources d'alimentation 25 kV différentes.

### La caténaire

La caténaire comporte :

- une caténaire simple, alimentée en 25 kV et composée d'un câble porteur Bz 65 mm<sup>2</sup>, d'un fil de contact Cu 150 mm<sup>2</sup> et de pendules en bronze ;
- un feeder constitué d'un câble alu-acier de 288 mm<sup>2</sup> de section ; alimenté également en 25 kV mais en opposition de phase avec la caténaire ;
- un câble de protection aérien, qui met tous les supports caténaires au potentiel de référence, le « potentiel zéro », auquel sont reliés notamment la voie et le câble de terre enterré.

Les tunnels monotubes ont fait l'objet d'études et de dispositions particulières tenant compte de la faible section utile et de l'objectif de vitesse de 230 km/h.

Les supports caténaires sont des poteaux en H en acier galvanisé à platine, fixés par tiges de scellement, soit sur des massifs en béton en pleine terre, soit directement sur les ouvrages, viaducs et dalles en béton.

Il est à noter que les massifs de fondation, le matage des poteaux caténaires ainsi qu'une partie de la mise en place du feeder et du câble de protection aérien ont pu être réalisés avant la pose de la voie.

Les moyens utilisés comprennent notamment un train dérouleur à tension mécanique constante, des trains d'installation spécifiques ainsi que des engins rail-route automoteurs.

### La commande centralisée de la ligne

L'ensemble de la ligne HS1 est commandé depuis le centre de contrôle d'Ashford (AFC), qui comporte trois systèmes distincts :

- le RCCS (Route Control Centre System) pour la gestion du trafic ferroviaire, dont le rôle principal est d'assurer la commande de la signalisation ;
- l'EMMIS (Electrical and Mechanical Management and Information System) également appelé Scada (Supervisory Control And Data Acquisition) pour la commande et la supervision des diverses installations électriques relatives à la traction électrique (sous-stations, postes et caténaire), à la distribution basse tension, aux installations électromécaniques telles que les stations de pompage ;
- le VCS (Ventilation Control System) pour la commande des équipements de ventilation et de désenfumage dans les tunnels.

### La signalisation

La technologie utilisée est le SEI (Système d'Enclenchements Intégrés), appelé sur la ligne nouvelle ITCS (Interlocking and Train Control System), et déjà utilisée sur la LGV Méditerranée.

Le système de signalisation est la TVM 430 (TVM = Transmission Voie Machine), comme sur la LGV Nord en France et le tunnel sous la Manche, et dont les trains Eurostar sont déjà équipés.

Une ligne à grande vitesse se distingue en effet d'une ligne classique par l'absence de signaux latéraux le long de la voie, signaux que compte tenu de la vitesse, le conducteur n'aurait pas le temps de voir.

Les indications nécessaires apparaissent donc directement sur le poste de conduite.

Les informations sont transmises au train par l'intermédiaire d'impulsions électriques véhiculées par les rails, captées par une antenne placée sous le train et décodées par un ordinateur de bord.

Ce système de signalisation est basé sur le principe de la conduite au « rendez-vous » : la ligne est divisée en cantons d'environ 1500 m de long pour CTRL1 et 950 m pour CTRL2 ; les instruments de bord indiquent notamment la vitesse à respecter à la fin du canton parcouru.

La ligne HS1 a été étudiée pour permettre la circulation :

- de trains internationaux à grande vitesse (300 km/h sur CTRL1 et 230 km/h sur CTRL2), type Eurostar à l'heure actuelle ;
- de trains régionaux pour les liaisons entre Londres et le Sud-Est de l'Angleterre (225 km/h),

- de trains de fret de type « messagerie » (140 km/h) (photo 11).

### Les télécommunications

Les télécommunications comportent essentiellement les systèmes suivants :

- le réseau de transmission de données DTN (Data Transmission Network) : réseau de transmission numérique SDH s'appuyant sur un réseau de câbles à fibres optiques (FON);
- des réseaux radio : GSM-R (Global System for Mobile communication-Rail) évolutif, Radio Sol Train CSR (Cab Secure Radio) devant être intégré à moyen terme dans le GSM-R, réseau urgence et secours (ERO), réseau police et ambulances (TETRA);
- un système de téléphonie permettant le raccordement des divers téléphones (d'exploitation ferroviaire et autres);
- un système de surveillance vidéo des sites sensibles, en cas d'incendie, d'incident ou d'intrusion, permettant d'effectuer une levée de doute des alarmes rapportées par l'Emmis.

### ■ Le rôle de Systra

Systra, présent dans LCR et RLE depuis leur création, et fort de son expérience de plus de 25 ans dans le domaine de la grande vitesse ferroviaire, a participé activement à la conception, les études, la réalisation et la mise en service de la ligne nouvelle HS1. L'intervention des experts Systra s'est faite soit par intégration au sein des équipes de RLE, avec en moyenne plus de cent permanents au Royaume-Uni, soit par réalisation de lots d'études à partir du siège parisien de l'entreprise.

Dans le domaine du génie civil, les principales interventions de Systra ont été les suivantes :

- définition des critères de conception et des études spécifiques aux ponts ferroviaires pour lignes à grande vitesse;
- participation aux études de nombreux ouvrages, en intervenant notamment sur les schémas statiques des viaducs et l'interaction rail-structure, le comportement dynamique, l'impact sonore, etc.;
- sur le viaduc de la Medway en particulier, Systra a participé aux études statiques et à la mise au point des plans d'exécution;
- études de conception et d'exécution de la structure type « piled slab »;
- contrôles d'études d'exécution d'ouvrages d'art, en ligne et dans la zone de la gare de Saint-Pancras.



Photo 11

Eurostar sur le viaduc de la Medway

*Eurostar on the Medway Viaduct*

En matière d'équipements ferroviaires, les principales missions de Systra ont concerné les domaines suivants :

- alimentation en énergie : définition et positionnement des sections de séparation de phases, conception et réalisation du schéma d'alimentation et de sectionnement, définition des principes et des exigences de mise à la terre, vérification des schémas de principe et des interfaces d'alimentation;
- voie et caténaires : définition et établissement des concepts et principes, supervision et contrôle des études et de l'exécution des travaux, définition et assistance à la logistique des chantiers et à la circulation des trains durant les travaux, ainsi qu'aux essais de montée en vitesse, et plus généralement aux essais statiques et dynamiques permettant la mise en service des installations;
- signalisation : cantonnement de la ligne, outils pour la signalisation informatisée, validation indépendante de la TVM 430, études de signalisation de la gare de Saint-Pancras, assistance à la réalisation de la signalisation en ligne et du centre de commande et de contrôle d'Ashford...;
- exploitation : grilles de circulation, temps de parcours et détection des conflits, critères de performance;
- sécurité et sûreté de fonctionnement : analyse des modes de défaillance permettant de préciser les niveaux de fiabilité exigés des entreprises, vérification indépendante des logiciels de sécurité conçus par les divers constructeurs, validation des études de désenfumage dans les tunnels...;

## Ligne nouvelle à grande vitesse High Speed 1. Londres - Tunnel sous la Manche

- environnement : étude des effets électromagnétiques dus aux courants de traction et mesures correctives, mesures des bruits de roulement pour la protection acoustique;
- préparation de la maintenance : rédactions d'ins-tructions, formation d'équipes d'encadrement.

Dans le cas de la gare terminale de Saint-Pancras, Systra a effectué des études d'avant-projet détaillé dans les domaines du tracé de voie, de l'armement de celle-ci, de l'énergie électrique, des équipements électromécaniques, de la caténaire et des télécommu-nications.

### ■ Conclusion

Le projet CTRL, aujourd'hui High Speed 1, a repré-senté l'un des plus importants chantiers réalisés au Royaume-Uni et a été terminé « *on and within budget* ». La nouvelle ligne va bien sûr contribuer à rapprocher un peu plus Londres de l'Europe continentale; au Royaume-Uni elle va aussi faciliter les trajets inté-rieurs et participer plus particulièrement au dévelop-pement de l'Est de Londres.

L'organisation retenue pour la maîtrise d'ouvrage comme pour la maîtrise d'œuvre s'est montrée très per-formante. Du point de vue technique, l'intervention des experts de Systra a été déterminante pour traiter les sujets liés à la grande vitesse ferroviaire. ■

### ABSTRACT

#### *New high-speed railway line. High Speed 1. London - Channel Tunnel*

*J.-P. Orsi, Ch. Bousquet*

*With the opening of the new HS1 (High Speed 1) line on 14 November 2007, the distance between Paris and London can be covered in 2 h 15min, via the Channel Tunnel. The line, formerly called CTRL (Channel Tunnel Rail Link), consists of two sections : the first, 70 km long, has been open since 2003, while the second, 39 km long, completes the link through to St Pancras Station.*

*This line required the construction of a large number of civil engineering structures of all kinds, especially in the London urban area : single- and double-track tunnels, cut-and-cover tunnels, composite viaducts, concrete and steel viaducts, etc., employing a great variety of construction techniques. Systra played a very important role in project management, since the railway technology for design of the line (track, catenary system, signalling, etc.) involved extensive use of French high-speed rail engineering expertise.*

### RESUMEN ESPAÑOL

#### *Nueva línea de alta velocidad. High Speed 1. Londres - Túnel bajo la Mancha*

*J.-P. Orsi y Ch. Bousquet*

*La apertura de la nueva línea de alta velocidad HS1 (High Speed 1), el 14 de noviembre de 2007, permitirá poner en comunicación París con Londres en 2h15, vía el túnel bajo la Mancha. Anteriormente denominado CTRL (Channel Tunnel Rail Link), esta línea consta de dos tramos : el primero, de una longitud de 70 km, está abierto desde 2003, el segundo, de una longitud de 39 km, permite completar el enlace hasta la estación ferroviaria de Saint-Pancras.*

*Esta línea ha precisado la construcción de un número importante de obras de fábrica de todo tipo, y en particular en la aglomeración londinense : túneles de simple o doble vía, falsos túneles, viaductos mixtos, de hormigón o metálicos, etc., recurriendo a diversas técnicas de ejecución sumamente variadas.*

*La intervención de Systra para la dirección de proyecto ha sido muy importante, el establecimiento del concepto de la línea en el aspecto de la técnica ferroviaria (vía, catenaria, señalización, etc.) habiendo recurrido ampliamente a la ingeniería francesa de la alta velocidad.*

# Le projet TIMA 2

**Guy Lechantre**  
 Directeur de travaux  
 Eiffage TP

**Jean-Luc Trottin**  
 Directeur  
 de département  
 Eiffage TP

**Le SIAAP, dans un souci d'éviter les déversements en Seine par temps de pluie, a entrepris la construction d'un ouvrage capable de dévier les réseaux pluviaux actuels de l'Est parisien pour les transférer vers la station de traitement de Valenton.**

**La réalisation de TIMA 2 a été confiée au groupement Eiffage TP - Urbaine de Travaux - Forclum - Aden France.**

**Les travaux consistent essentiellement en la réalisation d'un collecteur de 4 m de diamètre et de 750 m de long passant sous la seine, d'un ouvrage déversoir d'orage et d'un puits de chute équipés de vannes et d'un local de gestion automatisé.**

Le SIAAP (Syndicat interdépartemental de l'assainissement de l'agglomération parisienne) transporte et épure, chaque jour, trois millions de mètres cubes d'eaux usées produits par 8 millions d'habitants des départements 92, 93, 94 et de Paris, ainsi que de 180 communes d'Île de France. Les eaux usées sont traitées avant d'être rejetées dans la Seine ou dans la Marne afin de préserver la qualité de l'eau. Les études de l'assainissement en zone centrale de la région Île-de-France ont montré la nécessité de réaliser, dans le secteur situé à l'amont de Paris, une importante capacité de stockage, afin d'éviter les déversements en Seine par temps de pluie.

Dans ce cadre, le SIAAP a entrepris la réalisation d'un tunnel de 4 m de diamètre sur 750 m traversant la Seine pour rejoindre l'ouvrage de stockage des eaux pluviales, dénommé tunnel Ivry - Masséna (TIMA 1), d'une capacité de 130 000 m<sup>3</sup>.

Ce tunnel, collectera notamment les effluents actuellement rejetés par les déversoirs d'orage dénommés « Vincennes - Charenton », « Périphérique », implantés dans le XII<sup>e</sup> arrondissement de Paris. Les eaux ainsi stockées seront ensuite acheminées vers la station d'épuration Seine Amont (Valenton) où elles seront traitées. La capacité de l'ensemble permettra de prendre en charge un débit ponctuel d'orage allant jusqu'à 40 m<sup>3</sup>/s soit un peu moins que le débit d'étiage de la Seine (figures 1 et 2).

En mars 2006, le SIAAP donnait l'ordre de service de démarrer les travaux de l'intercepteur Masséna - Périphérique (TIMA 2) qui permettra le raccordement des déversoirs d'orage de la rive droite « Périphérique » et « Vincennes - Charenton » sur le tunnel de stockage (TIMA 1).

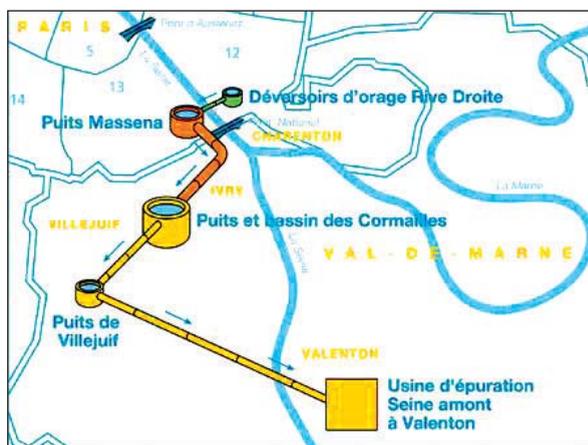


Figure 1

Projets TIMA (1 et 2) et alimentation de l'usine SIAAP Seine Amont (Valenton)

*TIMA projects (1 and 2) and supply of the SIAAP's Seine Amont facility (Valenton)*

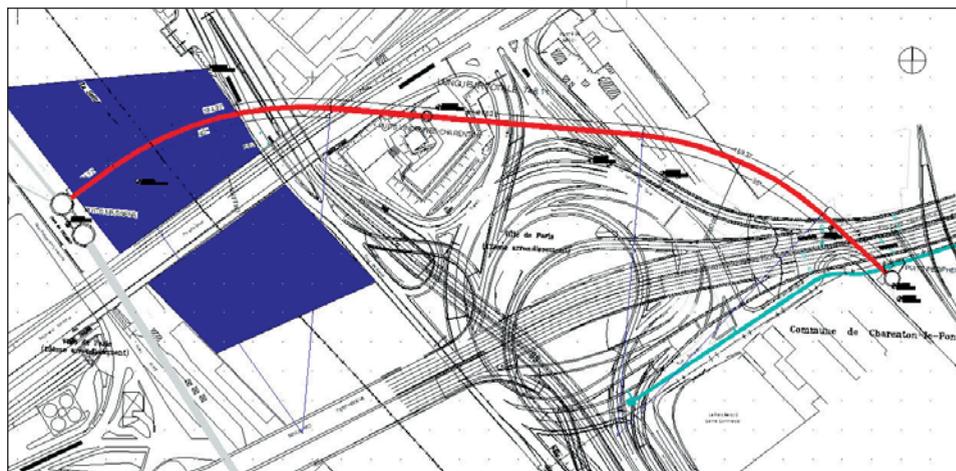


Figure 2

Tracé TIMA 2  
 TIMA 2 route

Le projet en cours de réalisation par un groupement emmené par Eiffage TP pour un montant de 23 M€ comprend les ouvrages suivants :

- le puits de chute à paliers dénommé « puits Périphérique » ;
- l'intercepteur proprement dit, constitué d'une galerie souterraine de 4 m de diamètre intérieur et 750 m de longueur ;
- l'ouvrage de raccordement au déversoir Périphérique ;
- l'aménagement et l'équipement complet de ces ouvrages comprenant toute la vantellerie (deux vannes secteur, une vanne murale et quatre batardeaux) et l'équipement électrique (les réseaux de liaison aux systèmes de gestion centralisés du SIAAP et du SAP (Service d'assainissement de Paris), les automatismes, les mesures et l'installation électrique de puissance), réalisées en co-traitance respectivement par Aden France et Forclum (groupe Eiffage).

Le projet TIMA 2

Figure 3  
Puits  
« Périphérique »  
en coupe  
"Ring road" shaft  
cross section

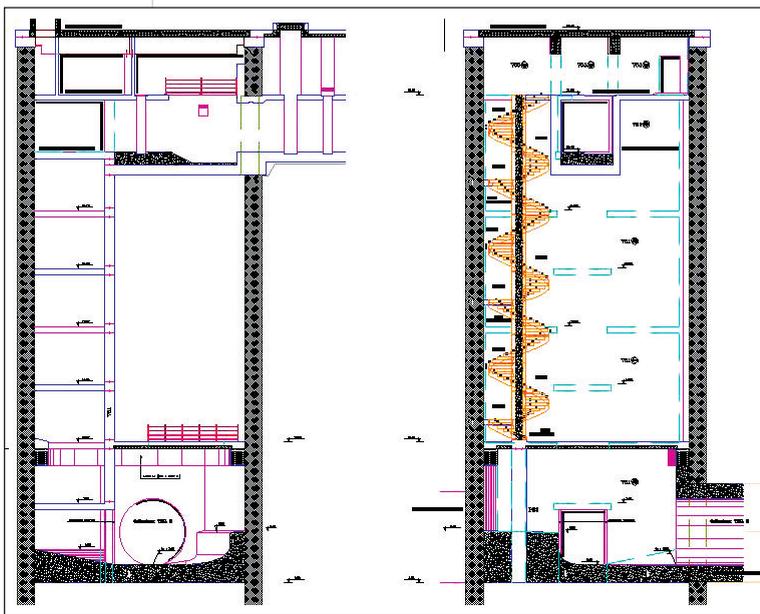


Figure 4  
Vue en coupe  
du déversoir  
Cross-section view  
of storm overflow

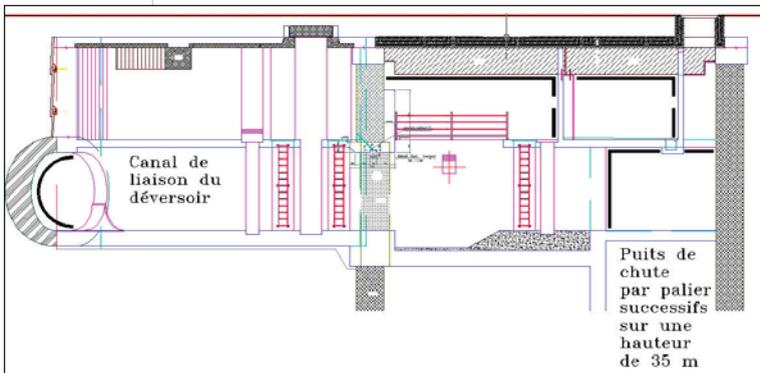


Figure 5  
Déversoir et puits  
« Périphérique »  
Storm overflow  
and "ring road" shaft

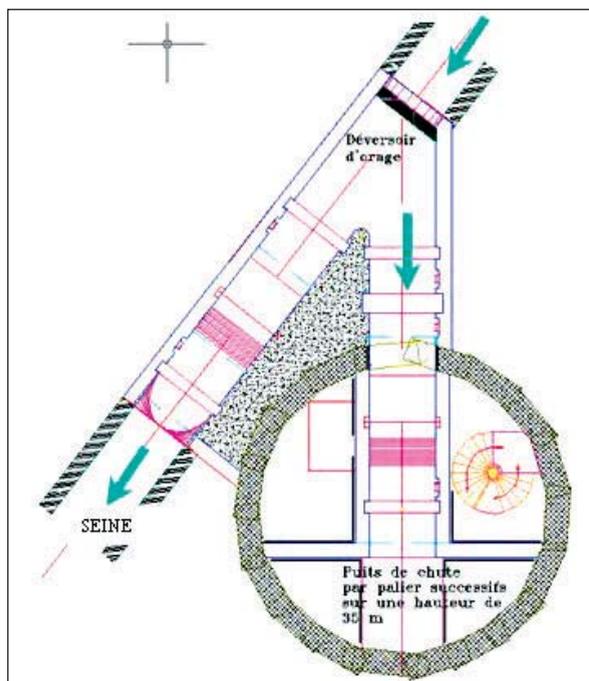


Photo 1

Puits « Périphérique » et déversoir  
"Ring road" shaft and storm overflow



■ Description des travaux  
à réaliser

La partie génie civil est réalisée par le groupement Eiffage TP (mandataire) et Urbaine de Travaux.

Le puits périphérique et le déversoir  
d'orage

Le puits de chute, de 12 m de diamètre intérieur garanti, et de 34,00 m de profondeur au niveau du radier, a été réalisé en parois moulées. Il a ensuite été terrassé à l'aide d'une pelle à bâti long sur les deux tiers de sa profondeur pour être terminé à la grue à tour. Un radier de 2 m d'épaisseur en béton armé termine provisoirement l'ouvrage en le protégeant d'une sous-pression (figure 3). Il est utilisé en phase chantier pour l'introduction du tunnelier à confinement ainsi que pour l'extraction des terres. Il sera ensuite compartimenté en deux volumes : puits à paliers et descente personnel et matériel. En partie supérieure seront aménagés des locaux techniques et de manœuvre accueillant les vannes, les batardeaux et les équipements associés.

L'ouvrage de liaison s'effectue en deux phases : la première consiste en la démolition, après busage, du déversoir d'orage (DO) Périphérique sur environ 20 m de longueur et la construction d'une chambre de raccordement au déversoir Périphérique assurant le rétablissement du déversoir existant, ainsi que la création d'une galerie d'amenée des eaux entre le déversoir d'orage et le puits de chute Périphérique.

Le raccordement et la création de locaux techniques destinés à la mise en place des équipements et à leur gestion seront réalisés dans une seconde phase.

La difficulté résidait essentiellement dans le fait d'un chômage partiel (travail autour d'un busage pour

**Figure 6**  
Plan général des installations de chantier  
*General drawing of site installations*



**Photo 2**  
Galerie d'amorce  
*Starting gallery*

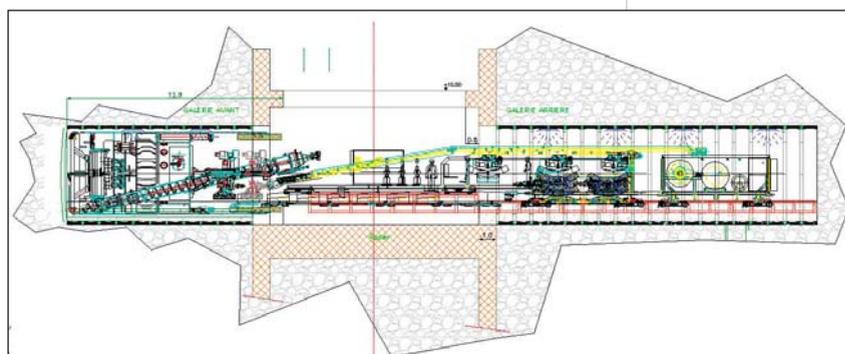
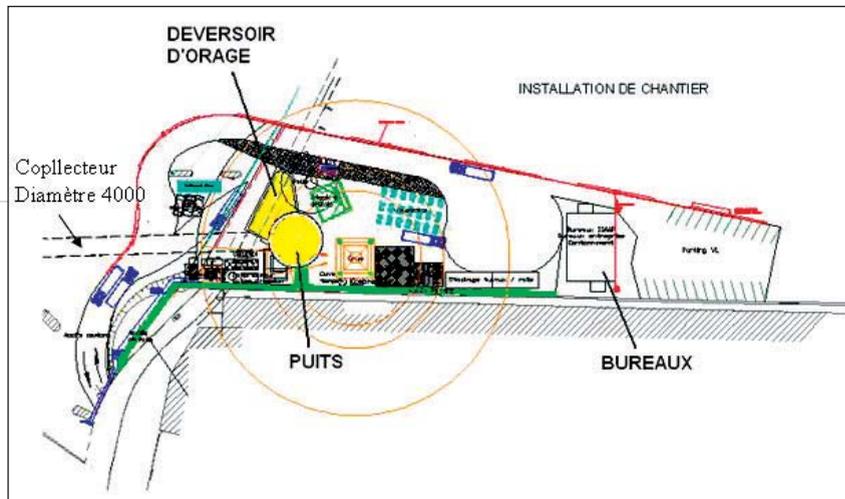
conserver un débit de fuite) uniquement possible durant deux périodes hivernales (la première d'octobre 2006 à avril 2007 et la deuxième plus courte de décembre 2007 à février 2008). Elle a contraint à réaliser cet ouvrage de liaison durant les travaux du puits périphérique et de préparation du tunnel. L'équipement partiel des vannes nous permettra de réaliser la liaison avec une contrainte de chômage réduite (photo 1 et figures 4, 5 et 6).

### Les galeries d'amorce

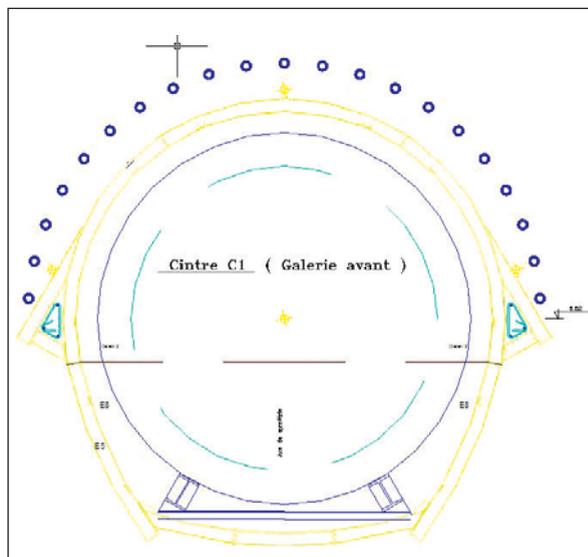
Le groupement a réalisé en fond de puits des galeries d'amorce et de recul pour la mise en place et le démarrage du tunnelier, ainsi que pour le mouvement des trains d'exploitation du chantier et la circulation du personnel en toute sécurité (figure 7).

La géologie autour du puits présente des particularités dont il a fallu tenir compte : les galeries se trouvent à cheval entre les argiles plastiques et les fausses glaises, très fluantes et gonflantes, à une profondeur d'environ 30 m. La partie supérieure est constituée de calcaire grossier de mauvaise qualité présentant des circulations d'eau importante, puis d'alluvions aux faibles caractéristiques mécaniques. Le tout avec une charge d'eau de 23 m.

La présence d'un mur de soutènement voisin, la proximité des piles du périphérique et le coût élevé d'exploitation d'un tunnelier pour une longueur de tunnel de 750 m, nous ont amenés à optimiser ces galeries en modifiant l'exploitation du creusement : démarrage avec le minimum vital de la machine et de son train suiveur et la conception de deux demi-trains courts pour le marinage et l'approvisionnement en voussoirs et mortier (photo 2).



**Figure 7**  
Vue en coupe de la galerie d'amorce  
*Cross-section view of the starting gallery*



**Figure 8**  
Soutènement provisoire de la galerie d'amorce  
*Temporary supporting structure for starting gallery*

Le choix a été fait de réaliser ces galeries de 20 et 12 m en demi-section avec des cintres lourds à espacement variable.

Pour s'affranchir du peu de couverture (< 3 m) entre les fausses glaises et le calcaire en charge, Séfi Intrafor a réalisé des voûtes parapluie en tubes de diamètre 114 mm espacées de 50 cm.

Compte tenu de l'irrégularité du niveau des fausses glaises et du caractère très fluantes de celles-ci, la voûte parapluie perdait une grande partie de son efficacité. Finalement la décision de réaliser un rabattement de nappe à l'aide de pompes de diamètre 6 pouces et un débit supérieur à 200 m<sup>3</sup>/h a été prise, pour terrasser en toute sécurité (figure 8).

Le projet TIMA 2



Photo 3  
Tracé depuis le puits « Périphérique »  
Route from the ring road shaft

Photo 4  
Voussoirs Stradal  
Stradal segments

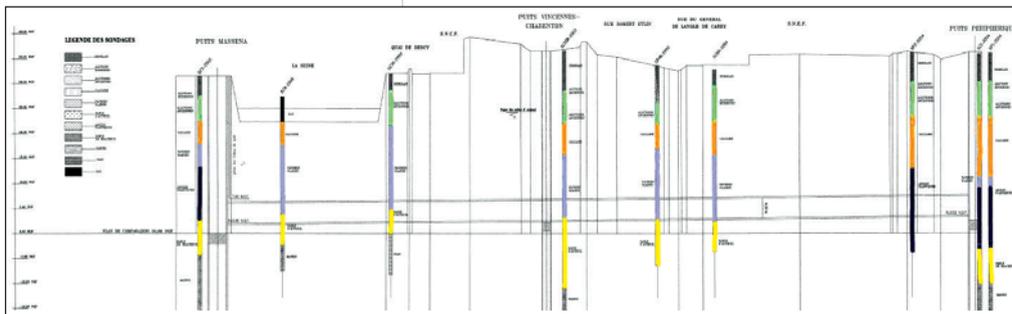


Figure 9  
Profil géologique TIMA 2  
TIMA 2 geological profile

**QUELQUES DONNÉES CARACTÉRISTIQUES**

- Diamètre de creusement : 4,96 m
- Longueur du bouclier : 11,60 m
- Longueur totale du tunnelier : 101 m
- Diamètre intérieur du tunnel : 4 m
- Épaisseur des voussoirs : 30 cm
- Longueur de l'anneau : 1,3 m
- Type d'anneau : universel composé de six voussoirs
- Puissance installée : 1500 kVA
- Puissance d'entraînement de la roue de coupe : 945 kW
- Effort de poussée : 1900 t
- Poids du bouclier : 288 t
- Poids du train suiveur : 150 t



Le tunnel de diamètre 4 m

Le creusement en souterrain d'une galerie de 4 m de diamètre intérieur fini avec mise en place du revêtement en voussoirs de béton armé, entre les puits Périphérique et Masséna sur une longueur de 750 m est réalisé à 35 % à fin septembre 2007. Actuellement la cadence est de 12 m par jour. Le creusement sera ponctué par la traversée en souterrain du puits Vincennes - Charenton et la sortie prévue en novembre 2007 au puits Masséna, dans un contexte géologique difficile. Le profil du tunnel est composé de trois alignements droits d'une longueur totale de 366,253 m et de deux courbes à gauche de rayon 280 m et d'une longueur totale de 383,902 m.

La pente du tunnel est descendante à 2,03 ‰ (photo 3). Le revêtement est constitué par des anneaux de voussoirs en béton (armé à 80 kg/m<sup>3</sup>). Six voussoirs sont nécessaires, ils sont de forme trapézoïdale avec des faces biaisées. L'anneau est de type universel avec un pincement lui permettant d'assurer les courbes et pentes du tunnel. Ils sont fabriqués par la société Stradal et sont livrés au fur et à mesure du creusement du tunnel (photo 4).

La longueur unitaire d'un anneau est de 1,30 m et son épaisseur est de 30 cm.

La géologie du projet passe de l'argile plastique aux fausses glaises et aux sables d'Auteuil dans le tiers inférieur sur près de la moitié du tracé. De plus, l'ensemble est situé entre deux nappes d'eau : la charge de la Seine s'appliquant sur les fausses glaises à fort potentiel de gonflement et la nappe en charge dans les sables d'Auteuil.

Les travaux sont réalisés sous nappe et sont programmés en prenant en compte deux éléments essentiels :

- d'une part la présence sous le niveau prévisionnel de l'ouvrage d'un terrain perméable dans lequel se situe une nappe en charge (nappe des Sables d'Auteuil) ;
- d'autre part la présence d'une argile à fort potentiel de gonflement, avec des niveaux sableux instables.

À 30 m de profondeur, on peut estimer la contrainte générée par le poids des terrains à environ 0,6 MPa, ce qui conduit à une contrainte maximale susceptible d'apparaître en paroi de galerie d'environ 1,8 MPa (en galerie cylindrique et dans le cas d'une contrainte naturelle horizontale nulle) (figure 9).

Cette nappe en charge engendre toutefois des sous-pressions sous la couche des fausses glaises et il importe d'être très vigilant sur la mise en place du soutènement qui doit être réalisé très rapidement pour éviter une déformation du milieu susceptible de conduire à une instabilité des terrains et à un ennoyage par décompression de cet horizon.

Le soutènement définitif sera mis en place pour assurer la stabilité à long terme de l'ouvrage. Les soutène-

Horizon	Description	Puiss (m)	$\gamma_d$ kN/m <sup>3</sup>	W (%)	$\sigma_g$ MPa	R <sub>c</sub> MPa	C <sub>u</sub> kPa	C <sub>uu</sub> kPa	$\varphi_{uu}$ (°)	C' kPa	$\varphi'$ H	Em MPa	PI* MPa	k <sub>L</sub> m/s
Remblais	Sable argileux avec débris de béton et graves calcaires	3 à 5,5	20,8	8								18,3	1,4	
Alluvions modernes	Argile limoneuse et argile sableuse	0 à 7,1	7,3 à 13,9	33 à 82						0 à 5	29 à 35	4	0,3	7.10 <sup>-7</sup>
Alluvions anciennes	Grave sableuse et sable grossier	0 à 7		11								15,5	1,9	4.10 <sup>-6</sup> à 10 <sup>-3</sup>
Calcaire grossier	Calcaire glauconieux, altéré en sable	0 à 7	17,6 à 25	1,6 à 32		30,5 à 54,9						73,3	4,5	10 <sup>-6</sup> à 10 <sup>-3</sup>
Fausses glaises	Argile grise à noire, plastique, à lits sableux	5,1 à 17	13,4 à 18,7	17 à 36	0,36 à 0,6		30 à 360			10 à 30	12 à 14	19	1,1	10 <sup>-8</sup> à 10 <sup>-6</sup>
Sables d'Auteuil	Sable gris, moyen à grossier	0 à 11,8	15,6 à 16,6	20 à 23,4						0	26 à 29,5	70,5	4,6	10 <sup>-6</sup> à 5.10 <sup>-6</sup>
Argile plastique	Argile bariolée lie de vin, compacte	15,5 à 16	15,7 à 17,4	20,9 à 24			170 à 350			0 à 30	13 à 19,5	24	1,7	< 10 <sup>-8</sup>
Montien	Marne grise et marno-calcaire blanchâtre	7,7	16 à 17,4	17 à 37				110 à 200	1 à 10			62	5,4	10 <sup>-8</sup> à 10 <sup>-6</sup>
Craie	Craie blanche franche	>7,4	19	16,3		9								8.10 <sup>-8</sup>

Valeurs en italique : une seule mesure réalisée  
 Puiss : puissance au droit des sondages  
 $\gamma_d$  : poids volumique sec  
 w : teneur en eau  
 $\sigma_g$  : pression de gonflement  
 C<sub>u</sub> : cohésion apparente (sol saturé  $\varphi_u = 0$ )  
 Em : module pressiométrique moyen

C<sub>uu</sub> : cohésion apparente (sol non saturé)  
 $\varphi_{uu}$  : angle de frottement apparent  
 C' : cohésion effective (long terme)  
 $\varphi'$  : angle de frottement effectif (long terme)  
 R<sub>c</sub> : résistance à la compression simple  
 k<sub>L</sub> : perméabilité mesurée par essai Lefranc  
 PI\* : pression limite moyenne

**Tableau I**  
 Caractéristiques géologiques des terrains traversés  
*Geological characteristics of the ground passed through*

ments sont conçus pour reprendre la pression de gonflement des argiles ainsi que les pressions d'eau, en complément des pressions de terrain.

Le tableau I présente la synthèse de l'ensemble des résultats des sondages réalisés en rive droite, à savoir les résultats des sondages carottés et des sondages pressiométriques de la campagne de 1999, ainsi que les résultats des sondages carottés de la campagne 2002.

## ■ Le tunnelier à pression de terre

Le tunnelier utilisé pour le chantier TIMA 2 prénommé Michèle a été baptisé le 25 avril 2007.

Cette machine n'en est pas à ses premières performances. Après une adaptation par Herrenknecht pour devenir un EPB (cf. descriptif plus loin), elle a déjà réalisé deux tronçons de tunnel dans des terrains complètement différents avant de réaliser le tunnel TIMA 2.

Entre ces trois chantiers, les équipes de techniciens d'Eiffage TP se sont installées sur le dépôt du Perray-en-Yvelines pour remettre à neuf l'ensemble du tunnelier. Ces opérations coûteuses et complexes étaient nécessaires pour garantir l'adéquation de la machine avec le terrain, avec notamment des modifications de la roue de coupe, et pour fiabiliser la machine à l'équivalence d'une machine neuve (photo 5).

Le tunnelier a été descendu en fond de puits le lendemain de son baptême, le 26 avril 2007.

La nécessité d'optimiser les longueurs de galeries d'amorces a imposé un démarrage en plusieurs phases



avec les remorques de distribution de puissances et les remorques auxiliaires du train suiveur en surface. Le minimum pour le démarrage étant les remorques de commande, d'approvisionnement des voussoirs et de motorisation du convoyeur. Les suivantes ont été installées en deux phases :

- mise en place des remorques de puissance (limitation des longueurs de flexibles hydrauliques) ;
- mise en place du solde des remorques en même temps que l'aménagement définitif de production du puits.

Le tunnelier construit pour ce projet est un tunnelier à propulsion hydraulique avec confinement du front de taille au moyen de la pression de terre. La matière est abattue par une roue de coupe. Le revêtement du tunnel est constitué de voussoirs fabriqués par Stradal. Les boucliers à Earth-Pressure-Balance (en abrégé bou-

**Photo 5**  
 Le bouclier Michèle le jour du baptême  
*The Michèle shield on the day of its baptism*

Le projet TIMA 2

Photo 6

Tunnelier : zone de déchargement des voussoirs  
TBM : *segment unloading area*



cliers EPB, c'est-à-dire boucliers à pression de terre) trouvent leur application en particulier dans les sols cohérents à haute concentration en argile, limon, ou ardoise grossière, présentant un faible coefficient de perméabilité à l'eau (photo 6).

Lors de la mise en œuvre d'un bouclier à pression de terre, la matière abattue par la roue de coupe sert à confiner le front de taille afin d'éviter des affaissements ou soulèvements de terrain.

Pour pouvoir utiliser la matière abattue sur le front de taille comme moyen de confinement, cette dernière doit présenter les propriétés suivantes : bonne plasticité, consistance d'une boue souple, faible friction intérieure, faible perméabilité à l'eau.

L'ouverture de la tête de coupe le long de ses quatre bras terminés par des racleurs laisse pénétrer les copeaux réalisés par les 68 couteaux. Les bras de la roue de coupe malaxent le matériau pour lui donner la fluidité nécessaire à la transmission de pression et à l'écoulement vers la vis.

Cependant, le sol ne rassemble pas toujours toutes ces propriétés, que ce soit avant ou après l'abattage de terrain. Par conséquent, pour être transportable, la matière abattue doit être enrichie d'additifs tels que la bentonite ou de la mousse.

Dans notre cas, l'utilisation de mousse biodégradable CLBF 4 de Condat permet d'améliorer considérablement les paramètres de creusement que sont les puissances nécessaires à donner au couple de rotation de la roue de coupe et de la vis d'extraction des déblais.

Cette amélioration est obtenue essentiellement par une lubrification dans la chambre d'abattage et dans le corps de vis. Le passage dans les sables d'Auteuil induira



Photo 7

Tunnelier : érecteur de voussoir et vis d'extraction  
TBM : *segment erector and extraction screw*

également une utilisation d'adjuvant Condat CLBF4 L ou M, pour éviter toute déstructuration du front de taille.

### Fonctionnement du tunnelier EPB

Le terrain est abattu sur le front de taille au moyen d'outils fixés sur la roue de coupe en rotation. La matière d'abattage pénètre dans les orifices de la roue de coupe pour se déverser dans la chambre d'abattage où elle est mélangée à la boue plastique se trouvant dans la chambre. La force des vérins de poussée est transmise à la boue par la paroi étanche, empêchant une pénétration incontrôlée de la matière du front de taille dans la chambre d'abattage. L'équilibre est réalisé lorsque la boue dans la chambre d'abattage ne peut plus être comprimée par la pression de terre et la pression d'eau ambiantes. La pression de terre rencontrée alors sur le front de taille correspond à peu près à la pression de terre au repos. Si la pression de confinement de la boue augmente pour dépasser l'état d'équilibre, la boue dans la chambre d'abattage continue à se comprimer, il en est de même pour le sol et, le cas échéant, on assiste à un soulèvement de terrain devant le bouclier. En cas de diminution de la pression de terre, le sol risque de pénétrer dans la chambre d'abattage et de provoquer des affaissements à la surface du terrain (photo 7).

La pression de terre est influencée par les principaux facteurs suivants : vitesse de creusement, volume de matière abattue, ajout de substances de conditionnement du terrain et volume de matière évacué par la vis (photo 8).



Photo 8

Montage du tunnelier. Mise en place de la vis d'extraction  
TBM assembly. Installing the extraction screw

La manière habituelle de réguler la pression de terre pendant le creusement pour une vitesse de creusement donnée consiste à créer un différentiel de débit de terre entre l'excavation et l'évacuation et de créer une perte de charge par frottement dans la vis de marinage (vitesse de rotation et perte de charge singulière proportionnelle à la fermeture de la trappe d'isolement). L'optimum est obtenu à la limite d'un critère mécanique tel que la puissance (couple et vitesse) de la roue de coupe, celle de la vis de marinage ou la limite de perte de charge pour un débit donné en fonction des paramètres de plasticité du terrain (figure 10).

L'objectif est en tout cas de maintenir la pression de terre constante pendant le creusement. La pression générée dans la chambre à boue doit compenser la pression de terre devant la roue de coupe afin d'éviter des affaissements et des glissements de terrain. Cet objectif doit être maintenu en optimisant les possibilités mécaniques du tunnelier, à savoir le couple hydraulique nécessaire au malaxage d'un matériau fortement plastique qu'est l'argile.

La pression de terre et la pression de confinement s'affichent au poste de commande au moyen de capteurs de pression de terre installés à différents niveaux sur la paroi étanche.

La vitesse de rotation de la roue de coupe peut être modifiée au cours du creusement afin d'optimiser le mélange de la matière et son conditionnement ou pour réduire le couple du bouclier.

La gestion depuis la cabine de commande permet la

Figure 10

Tunnelier : coupes longitudinale et transversale  
TBM : Longitudinal and cross sections

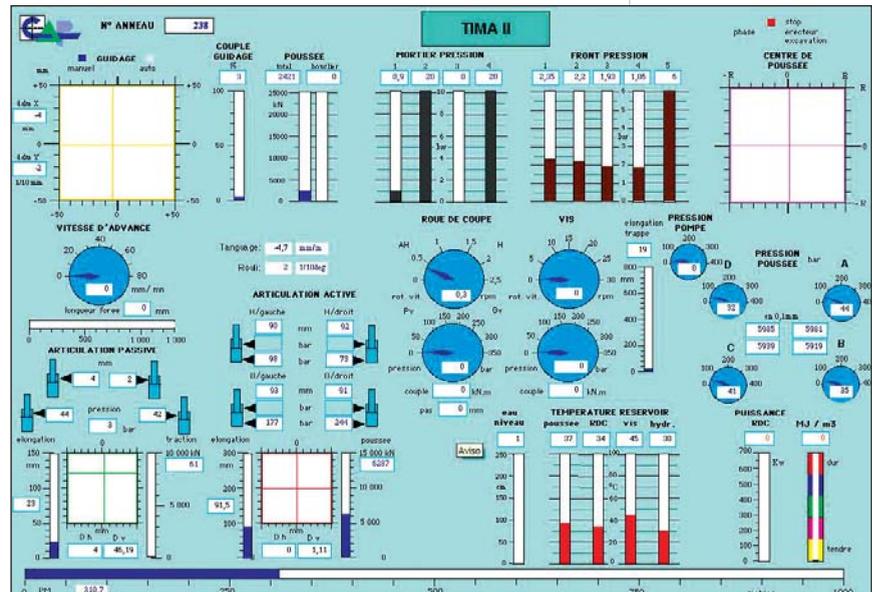
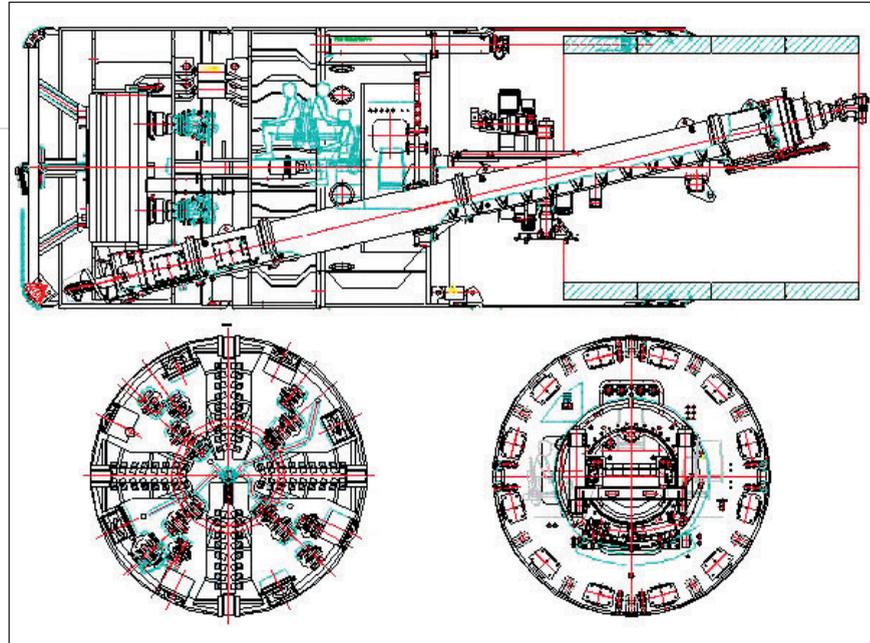
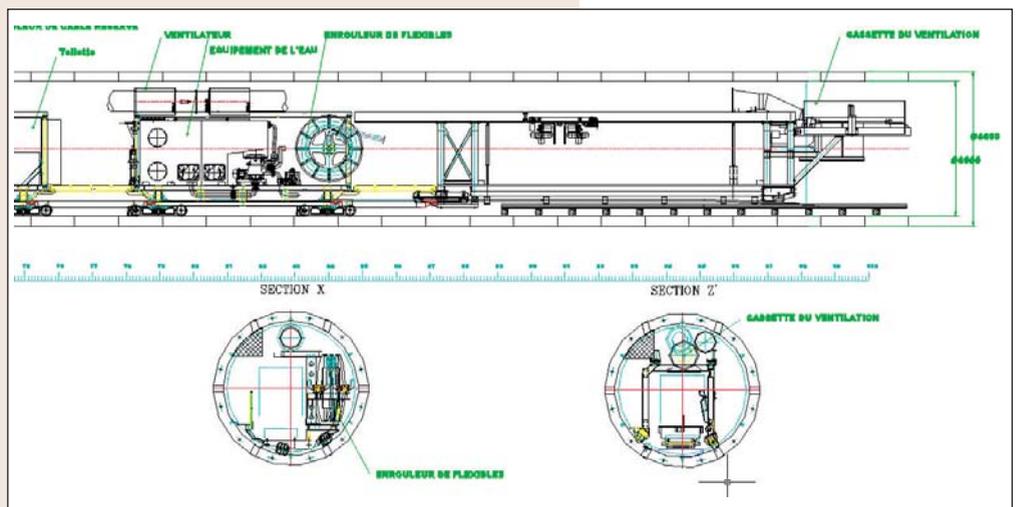
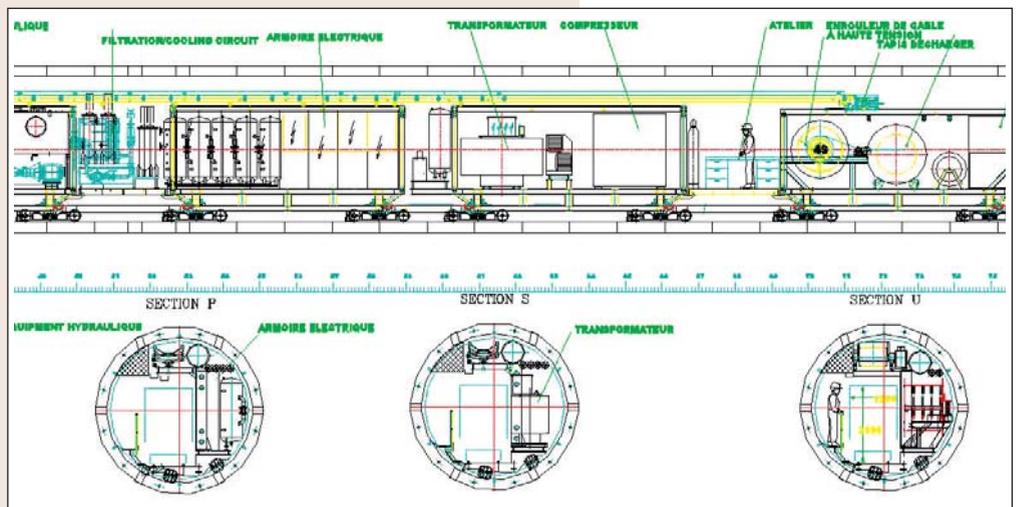
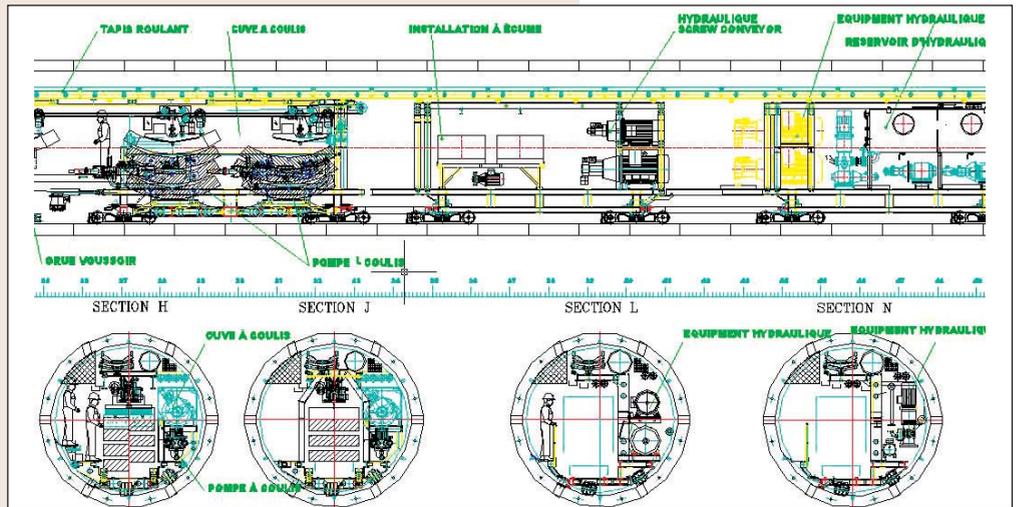
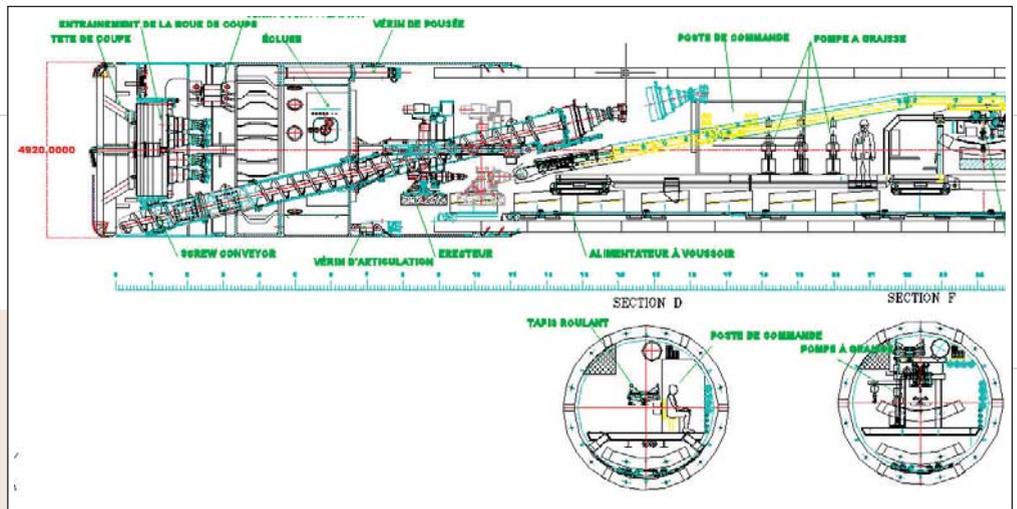


Figure 11

Chaîne d'acquisition : synoptique de contrôle général  
Acquisition chain : main mimic control panel

gestion automatisée de l'ensemble du pilotage de la machine. Le système CAP assure le guidage : il calcule le déplacement du plan d'appui après chaque pose d'anneau et par l'intermédiaire des différentes elongations de vérins, il représente la position de la roue de coupe et propose une gestion de la poussée pour suivre la courbe théorique mise en place au départ du projet. Les informations qui transitent sur les automates sont rapatriées sur une chaîne d'acquisition. Elle permet de garder en mémoire tous les événements, de pouvoir les restituer pour le dépannage ou pour l'amélioration continue. Elle permet bien évidemment d'être informé et de tenir informées les parties prenantes du projet et ce, depuis n'importe quel ordinateur via internet (figure 11).

Figures 12 à 15  
Tunnelier.  
Vue générale en coupe  
TBM. General  
cross-section view





Le tunnelier comprend un bouclier en quatre parties et un train suiveur de neuf remorques dont une, équipée de l'alimentateur à voussoirs (figures 12 à 15) :

- corps avant : partie qui supporte la tête d'abattage rotative et l'entraînement principal, partie où les sondeuses pour la reconnaissance à l'avancement sont installées;
- corps central : partie qui supporte huit vérins de capacité 1900 t à 450 bars permettant l'articulation du corps avant;
- corps arrière : partie dans laquelle sont montés 12 vérins de propulsion de capacité 1900 t à 350 bars, le sas principal et le sas de secours d'accès à la chambre d'abattage ainsi que l'érecteur de pose des voussoirs;
- jupe : partie arrière tractée et articulée par 10 vérins de 61 t à l'intérieur de laquelle sont montés les voussoirs;
- remorque 1 : alimentateur à voussoirs, poste de commande, pompe à graisse de joint de queue, pompe de lubrification des joints;
- remorque 2 : cuve à mortier avec malaxeur (le coulis est rempli par une pompe de transfert), pompe à injection de mortier, grue à voussoirs;
- remorque 3 : injection de mousse, groupe hydraulique de la vis, groupe hydraulique de l'entraînement de la roue de coupe;
- remorque 4 : groupe hydraulique pour le circuit de poussée et l'érecteur, réservoir d'huile;
- remorque 5 : circuit de refroidissement et filtration, armoires électriques;
- remorque 6 : transformateur, compresseur air respirable, compresseur air industriel;
- remorque 7 : enrouleur de câble électrique et des tuyaux d'exhaure, ventilation secondaire;
- remorque 8 : réserve d'eau du circuit de refroidissement, réservoir d'eau usée, enrouleur de flexible;
- remorque 9 : portique de montage des voies de rails, cassette de ventilation, rampe d'accès au back-up. ■

## ABSTRACT *The TIMA 2 project*

G. Lechantre, J.-L. Trottin

*To prevent discharges into the Seine in rainy weather, Paris region drainage board SIAAP has undertaken to build a structure capable of diverting the current rainwater networks from the eastern Paris area and transferring them to the Valenton treatment station.*

*TIMA 2 project performance was awarded to the consortium formed by Eiffage TP, Urbaine de Travaux, Forclum and Aden France.*

*The work basically involves the construction of a main drain 4 m in diameter and 750 m long passing under the Seine, a storm overflow structure and a drop shaft fitted with valves and an automated control room.*

## RESUMEN ESPAÑOL *El proyecto TIMA 2*

G. Lechantre y J.-L. Trottin

*El SIAAP, en un afán de evitar los vertidos en el río Sena por tiempo de lluvia, ha emprendido la construcción de una obra capaz de desviar las redes pluviales actuales del Este de París para su transferencia hacia la estaciones de tratamiento de Valenton.*

*La ejecución de TIMA 2 se ha atribuido a la agrupación Eiffage TP - Urbaine de Travaux - Forclum - Aden France.*

*Los trabajos consisten, esencialmente, en la realización de un colector de 4 metros de diámetro y de una longitud de 750 metros que pasa bajo el río Sena, de un desagadero y de un pozo de vertedero dotado de válvulas y de un local de gestión automatizado.*

# La reconstruction de de la Causinière (06) :

Installé depuis 1975 au large de Saint-Jean Cap Ferrat sur la Côte d'Azur, l'émissaire de la Causinière achemine au large les eaux usées sans traitement des communes d'Eze, Beaulieu, Villefranche-sur-Mer et Saint-Jean Cap Ferrat, depuis le collecteur jusqu'à - 104 m de profondeur, à 500 m du rivage en extrémité du cap.

Dix ans après son installation, la conduite en acier d'origine s'avère fortement endommagée, présentant de nombreuses fissures dont une importante à 260 m du rivage, par laquelle la majeure partie du débit est refoulée.

La réhabilitation de l'émissaire devient alors une priorité pour le maître d'ouvrage, la Communauté d'Agglomération Nice Côte d'Azur (CANCA) qui décide la reconstruction partielle de l'émissaire.

## ■ Le contexte du chantier

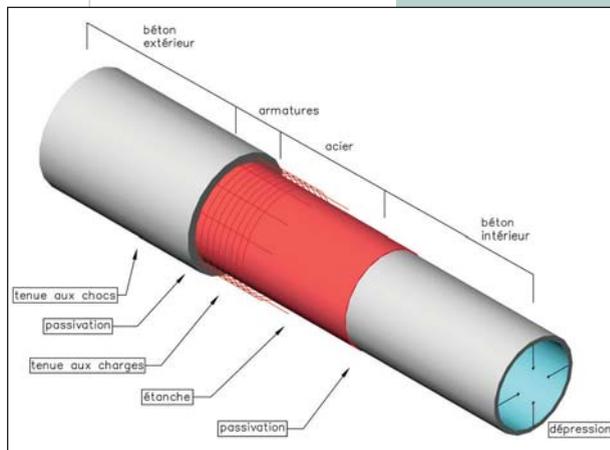
L'émissaire de la Causinière au large de Saint-Jean Cap Ferrat est en place depuis 1975. Il a été conçu pour acheminer les eaux usées sans traitement des communes d'Eze, Beaulieu, Villefranche-sur-Mer et Saint-Jean Cap Ferrat. Il est constitué d'une conduite acier de diamètre intérieur 500 mm et d'une longueur d'environ 600 m avec un point de rejet situé à - 104 m de profondeur pour la préservation des eaux de baignade à l'extrémité de Cap Ferrat.

La conduite maritime en acier est aujourd'hui fortement endommagée avec des fissures et des ruptures de lest. Les inspections sous-marines réalisées en novembre 2005 ont révélé essentiellement un dysfonctionnement de la protection cathodique, de petites fissurations à moins de 100 m du rivage, et une ouverture importante à 260 m du rivage à la cote - 75 m NGF par laquelle la majeure partie du débit est refoulée.

Figure 1

Éclaté d'un tuyau à âme en tôle et double revêtement en béton armé

Internal structure of a steel cylinder pipe, internally and externally concrete coated



## Le tuyau « Âme - Tôle »

Utilisé dans des domaines d'applications très variés tels que l'industrie, les centrales thermiques et nucléaires, le tuyau âme-tôle est largement employé pour les réseaux d'adduction d'eau et d'assainissement. Son concept original « acier - béton » fait du tuyau âme-tôle un vrai matériau composite apportant une réponse complète et équilibrée au regard des exigences qu'attendent :

- un maître d'ouvrage, qui se porte acquéreur d'une conduite qui doit être sans faille et sans incident pour garantir le bon fonctionnement de l'ouvrage hydraulique;
- un maître d'œuvre, qui se voit confier la mission du suivi et du contrôle de l'exécution de l'ouvrage en vérifiant que la canalisation proposée répond bien à toutes les contraintes liées aux :
  - > comportement mécanique,
  - > comportement hydraulique,
  - > agressions environnementales;
- une entreprise, qui réalise la mise en œuvre du produit et qui doit disposer d'une fourniture qui lui permette de travailler vite, facilement et en toute sécurité.

Le tuyau à âme en tôle est par définition un tuyau sur mesure. Ses caractéristiques sont calculées pour chaque chantier offrant ainsi des possibilités presque infinies sur ses capacités à résister à telle ou telle contrainte. Dans le cas de l'émissaire de Saint-Jean Cap Ferrat, nous avons dimensionné ses caractéristiques pour qu'il résiste aux efforts de traction pendant la phase de mise en œuvre, mais également qu'il puisse travailler en poutre et admettre des portées libres de l'ordre de 24 m, offrant ainsi la possibilité de passer en toute sécurité des zones sans assise comme en sortie du tunnel. Les critères de houle et de stabilité, nous ont amenés à proposer une conduite à âme en tôle légèrement surépaissie afin de lui donner le lestage nécessaire pour répondre à ces critères (figure 1 et tableau I).

Tableau I

Les valeurs des tuyaux âme-tôle

Metal core pipe values

<p><b>L'étanchéité :</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Etre étanche à la pression</li> <li>2. Etre étanche à la dépression</li> </ol>	<p>Une tôle en acier validée par un essai pression en usine à 75% de sa limite élastique.</p>
<p><b>La résistance mécanique :</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tenir aux charges</li> <li>2. Tenir aux chocs</li> <li>3. Avoir de l'inertie</li> </ol>	<p>Un béton spécifique pour ouvrages maritimes Moulé et vibré à haute fréquence Une armature fabriquée par enroulement d'un fil d'acier à pas constant.</p>
<p><b>La pérennité :</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Résister à la corrosion</li> <li>2. Résister à l'érosion</li> <li>3. Etre insensible aux agents climatiques</li> </ol>	<p>Une protection par passivation des aciers par un ciment adapté, qui est une protection chimique, permanente, sans entretien et ne crée aucune pollution. L'équilibre entre acier et ciment est stable et durable.</p>

# L'émissaire d'eaux usées un record en forage dirigé



**Bruno Kocupyr**  
Directeur d'activité  
Pression-Travaux  
Bonna Sabla SNC



**Pierre Bris**  
Chef de centre  
de travaux « Marseille »  
Bonna Sabla SNC



**Jean-Michel Etchaubard**  
Conducteur de travaux  
Bonna Sabla SNC

La CANCA en tant que maître d'ouvrage a lancé sous forme d'un appel d'offres en conception-réalisation, les travaux pour la reconstruction partielle de l'émissaire d'eaux usées de la Causinière, en intégrant les points suivants :

- changer l'émissaire existant depuis la chambre de départ, jusqu'à la cote - 80 m NGF;
- garder le point de rejet existant et donc le tronçon compris entre les cotes - 80 m NGF et - 104 m NGF;
- dimensionner le nouvel émissaire pour une capacité hydraulique de 420 l/s compatible de répondre aux besoins à l'horizon 2015;
- dimensionner le nouvel émissaire pour répondre aux sollicitations de courants et de houles d'occurrence centennale;
- livrer un ouvrage pour une durée de vie supérieure à 50 ans.

Le groupement de bureaux d'études Acric-In et Hydratec a été missionné pour établir le programme fonctionnel détaillé de l'opération, comportant la description d'une solution de référence.

Il importe de préciser que la réhabilitation de l'acheminement des eaux usées a un caractère provisoire dans son fonctionnement permanent actuel, sachant qu'à l'horizon 2009, les eaux usées de ce secteur seront redirigées sur le raccordement à la station d'épuration de Nice.

Le fonctionnement de l'émissaire de la Causinière doit malgré tout être remis à niveau avec les contraintes estimées à l'horizon 2015 de façon à ce qu'il assure l'évacuation des eaux usées, puisqu'il constitue une solution de délestage, en particulier lors des phases d'entretien du réseau global.

Le choix du maître d'ouvrage de lancer ces travaux sous forme d'un appel d'offres en conception-réalisation, fut justifié par la complexité technique, les contraintes environnementales à prendre en compte et les multiples solutions que pouvaient proposer les entreprises en fonction de leurs savoir-faire et de leurs moyens.



Photo 1

Le forage dirigé se fait en trois phases successives, un tir pilote en DN 220 mm, puis un alésage en DN 550 mm et pour finir un dernier alésage en DN 840 mm

*Controlled drilling comprise 3 steps : preliminary drilling ND 220, then 1st boring ND 550, and final boring ND 840*

## LES PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DE L'ÉMISSAIRE

- Longueur : 600 m
- Diamètre intérieur : 500 mm
- Profondeur du diffuseur : -104 m
- Matériau : tuyaux à âme en tôle et double revêtement en béton armé à joints soudés
- Caractéristique ciment : PMES (Prise mer eaux séléniteuses)

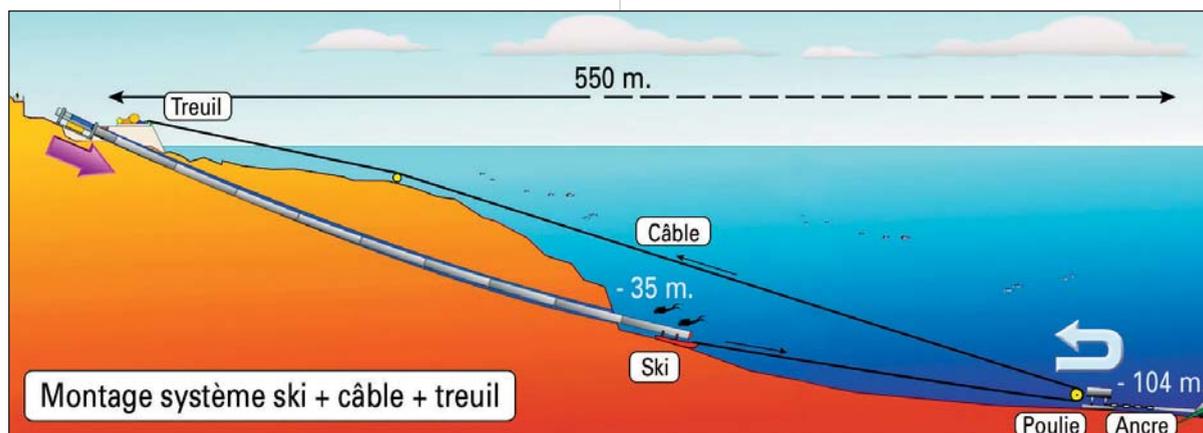


Figure 2

Principe de construction de l'émissaire par poussage et tirage, jusqu'à sa position finale à -104 m NGF

*Outfall sewer construction technique by pushing and pulling, up to its final location at -104 m NGF*

## La reconstruction de l'émissaire d'eaux usées de la Causinière (06) : un record en forage dirigé



Figure 3  
Reprise du tirage en sortie de tunnel  
*Pulling operation at tunnel exit*



Photo 2  
Sortie à -35 m du train de tiges sur lequel est fixé le trépan du tir pilote  
*Exit at -35 m depth of the drilling stems, to which the drilling bit of boring to be implemented is mounted*



Photo 3  
Le trépan est prêt à être démonté du train de tige pour être remplacé par le premier aléuseur en DN 500 mm  
*The drilling bit is ready to be dismantled and replaced by the first enlarging boring device ND 500*

### ■ Bonna Sabla retenu pour son savoir-faire

Bonna Sabla dans le domaine des émissaires en mer, possède une expérience presque centenaire. En effet, dans les années 1920 jusqu'en 1970 la Société des tuyaux Bonna livrait des conduites à âme en tôle pour une multitude de projets liés à des rejets, prises d'eau de mer et de traversées fluviales dans toute l'Europe : Belgique, Pays-Bas, Danemark, Suède, mais aussi Espagne, Portugal et bien sûr en France. Au début des années 1970 apparaît la première grande campagne de construction d'émissaires en mer sur la Méditerranée avec des villes comme : Cannes, Antibes, Menton, Sète, Argeles, etc. Toutes ces villes s'équipent d'un émissaire en tuyaux à âme en tôle conçu, fabriqué et posé par Bonna. Un vrai savoir-faire naît dans ce domaine. Aujourd'hui, ces communes utilisent encore leur émissaire même après plus de 30 ans de bons et loyaux services, comme Menton qui a raccordé sa station d'épuration sur l'ancien émissaire à âme en tôle construit 20 ans plutôt.

Plus récemment, le SIA de Guéthary – Saint-Jean-de-Luz dans les Pyrénées Atlantiques, ainsi que le SIVOM des Maures à Cavalaire-sur-Mer dans le Var, ont choisi le tuyau à âme en tôle de Bonna Sabla pour la construction de leur émissaire servant au rejet des eaux traitées de leur nouvelle station d'épuration après appel d'offres en conception-réalisation.

C'est dans ce contexte, et après la construction en groupement avec Eiffage TP du collecteur général des eaux usées de Nice sous la plage de la Promenade des Anglais en 2002, que la Collectivité d'Agglomération de Nice Côte d'Azur s'est orientée sur la solution technique présentée par Bonna Sabla.

### La solution retenue par la CANCA

Cette solution pérenne (au moins 50 ans de durée de vie) qui minimise l'impact sur l'écosystème marin en limitant au maximum les interventions sous-marines, se présente comme suit :

- remplacement complet de l'ancien émissaire y compris jusqu'au point de rejet situé à -104 m, évitant ainsi un raccordement compliqué et dangereux à -80 m, comme prévu initialement dans le cahier des charges;
- réalisation d'un tunnel par forage dirigé pour passer la zone rocheuse avec un fort tombant de 0 m à -35 m. Cette méthode permet de s'affranchir de tous les risques liés à la réalisation d'une souille pouvant être dangereuse, polluante, située en zone protégée sur laquelle se trouvent des herbiers de posidonies et soumise au courant et à la houle du cap Ferrat (figure 2, page précédente);

- construction de l'émissaire par assemblage de tuyaux à âme en tôle soudés entre eux depuis une aire de travail spécialement aménagée en amont du tunnel. Quand l'émissaire débouche à la cote -35 m en sortie de tunnel, les plongeurs installent sur l'extrémité de celui-ci un équipement spécifique permettant la poursuite de la construction de l'émissaire par tirage, sur un fond sableux en pente plus douce, jusqu'au point de rejet final situé à -104 m NGF;
- dépose de l'ancien émissaire par découpe puis enlèvement en décharge;
- installation d'une chambre de raclage en tête d'émissaire permettant un nettoyage de celui-ci;
- mise en place d'une nouvelle nourrice en âme en tôle au droit des pompes afin de diminuer les pertes de charges hydrauliques et d'assurer le débit de 420 l/s demandé à l'horizon 2015.

## ■ Phasage du chantier

Le chantier se décompose en plusieurs phases successives décrites ci-après. Durée du chantier : 6 mois

### Phase 1

#### Préparation du chantier

##### Reconnaissance du tracé

La première phase du chantier a consisté à faire un relevé bathymétrique afin de valider le tracé, les études et les méthodes qui ont permis d'élaborer la solution proposée à la CANCA.

##### De 0 à -35 m

Zone rocheuse caractérisée par un fort tombant.

##### De -35 m à -104 m

Zone sableuse à pente régulière.

### Phase 2

#### Le forage dirigé

##### Amenée du matériel de forage

La première difficulté rencontrée fut liée à l'exiguïté des rues de Saint Jean Cap Ferrat pour accéder au chantier avec la machine de forage dirigé (Herrenknecht HDD Rig HK 150C). Passé cet obstacle, la géologie formée d'une roche calcaire faillée et instable allait se révéler un vrai challenge pour les équipes de Bonna Sabla et de ses deux sous-traitants RPS et TSM BO.

##### Exécution du forage dirigé

Après la réalisation d'un tir pilote en DN 220 mm, celui-ci est élargi à l'aide d'un aléreur.

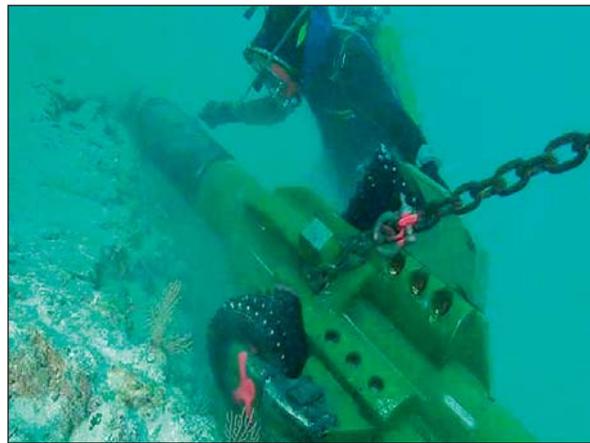


Photo 4

Montage de l'aléreur DN 840 mm sur le train de tige en sortie de tunnel  
Boring device ND 840 is mounted upon the drilling stems at tunnel exit



Photo 5

Passage caméra dans le tunnel avant tubage de celui-ci  
Video inspection inside the tunnel before pipe slipping



Photo 6

Mise en place d'un équipement spécifique pour retenir l'émissaire dans la pente de 48 % au départ du tunnel. Ce système permet de ne pas perdre l'émissaire dans les abîmes de la Méditerranée  
Installation of a specific equipment designed to restrain the sewer pipe from slipping along the steep initial slope (48 %) : it is mandatory to pay attention enough not to let the whole pipe column sink in deep Mediterranean sea

## La reconstruction de l'émissaire d'eaux usées de la Causinière (06) : un record en forage dirigé



Photo 7

Le chantier doit rester le plus discret possible jusqu'à sa fin. La phase construction de l'ouvrage commence par la mise en place du premier tuyau dans l'axe du tunnel. Contrainte supplémentaire pour le chantier, le site est très apprécié pour la plongée (cf. bateaux-écoles devant le chantier)

*Job is expected to remain discreet till the very end. Construction starts with the positioning of the first pipe in line with the tunnel centreline. Additional constraint : the job site is renowned for diving (boats can be seen at anchor on the picture)*

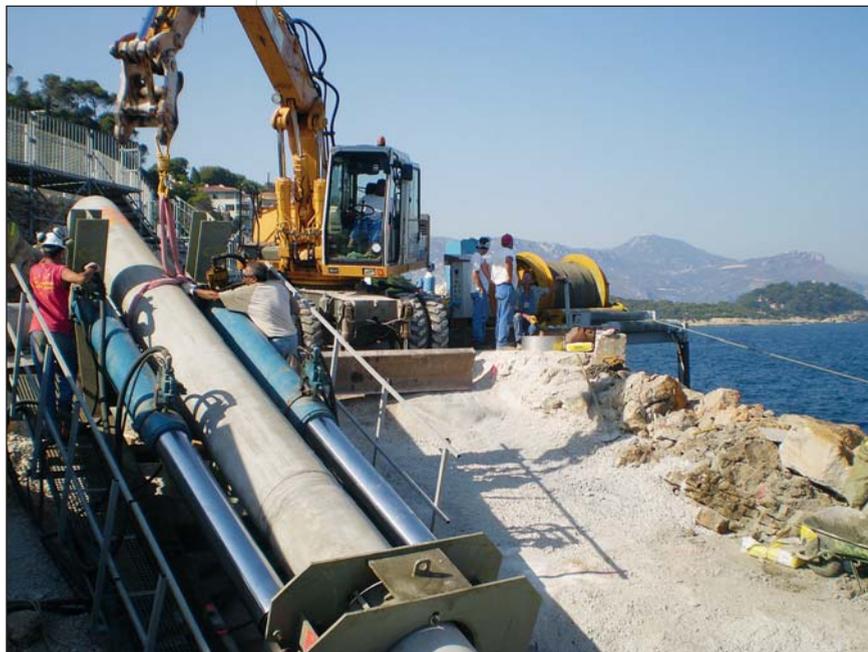


Photo 8

L'avancement de l'émissaire se fait à l'aide d'un bâti spécialement conçu et fabriqué par notre service matériel et équipé de vérins de 300 t

*The sewer is pushed by means of a special apparatus, designed and manufactured by our specialized team, and equipped with 300 tons capacity jacks*



- 1<sup>er</sup> alésage DN 550 mm ;
- 2<sup>e</sup> alésage DN 840 mm.

Le diamètre important du forage, la météorologie instable, la proximité directe de la mer et une roche faillée provoquant en deux endroits des arrivées intempestives de blocs dans le forage, jusqu'à bloquer l'avancement de l'alésage, ont été les faits marquants de cette phase délicate du chantier.

### Pas de boue de forage

Toujours dans le respect de la protection de l'environnement, nous avons fait le choix de ne pas utiliser de boue de forage, seul un refroidissement par pompage d'eau de mer a été utilisé.

### Réception du forage

Le forage terminé, celui-ci est réceptionné après un curage complet sur toute sa longueur et le passage d'un gabarit de 12 m, composé de deux tuyaux à âme en tôle identiques à ceux qui serviront à la construction du futur émissaire.

### Bonna Sabla, une filiale du groupe Consolis

Bonna Sabla est un acteur de la préfabrication en France (CA 400 M€) dont le cœur de métier est orienté vers le secteur des travaux publics et de l'assainissement. D'autres métiers, en fort développement concernent le génie civil, l'environnement et les produits de gros œuvre pour la construction.

L'un des métiers historiques de Bonna Sabla est la fabrication du tuyau dit à « âme en tôle », une conduite pression dont la renommée est bâtie sur plus de 100 ans d'expérience. L'entreprise réalise également des travaux spéciaux liés à la pose de canalisations : fonçage, forage, microtunnelage ; réhabilitation des réseaux visitables et non visitables, par l'intérieur ; maintenance des réseaux en sites industriels ; pose de canalisations spécifiques : émissaires de rejet en mer, tuyaux poutres, pose en galerie, pose de gros diamètres...

Premier groupe européen de l'industrie des produits en béton préfabriqués, Consolis propose des solutions complètes pour la réalisation d'infrastructures et de bâtiments. Le groupe compte plus de 100 usines dans 20 pays, de la Scandinavie à l'Afrique du Nord, de l'Europe de l'Ouest aux pays Baltes et jusqu'en Russie. Consolis emploie 8000 salariés et réalise un chiffre d'affaires qui dépasse le milliard d'euros.

### Phase 3

#### *Construction de l'émissaire jusqu'en sortie de tunnel*

##### **Bâti de retenue**

La pente importante au départ de l'émissaire, nous a imposé de concevoir un engin pour freiner celui-ci dans sa phase de construction et le faire avancer de manière contrôlée jusqu'à sa sortie du tunnel. Le bâti de retenue conçu par nos soins est composé de deux vérins de 300 t et se trouve positionné en tête d'émissaire dans l'axe du forage précédemment exécuté. Régulés par un automate, des vérins de serrage transversaux libèrent les nouveaux tuyaux assemblés qui avancent par l'intermédiaire des vérins longitudinaux. L'émissaire ayant avancé de 12 m, les vérins de serrage sont à nouveau actionnés et un autre cycle peut recommencer. Le pas d'avancement de 12 mètres est calculé sur une longueur de deux tuyaux.

##### **Assemblage des tuyaux**

Les tuyaux à âme en tôle à joints soudés permettent la construction de l'émissaire en continu. Après soudure et rejointoiement par un mortier spécial, la conduite se transforme en une canalisation monolithe, jusqu'à sa sortie du tunnel à la cote -35 m NGF. Pour faciliter sa mise en œuvre, celle-ci est fermée à son extrémité par un bouchon à déverrouillage automatique. Dans sa phase construction, la canalisation est donc pleine d'air.

### Phase 4

#### *Mise en place du ski, de l'ancre et de la poulie*

##### **Ski de tirage, ancre et poulie**

Une fois l'extrémité de la canalisation sortie du tunnel, les plongeurs descendent le ski de tirage qui est fixé sur le premier tuyau.

Le ski est relié à un câble de traction qui permet le tirage de l'ensemble depuis un treuil installé près de l'aire d'assemblage des tuyaux en zone terrestre, en passant au travers d'une poulie ancrée sur le fond et située au-delà du point de rejet.

### Phase 5

#### *Reprise du tirage*

##### **Construction de l'émissaire**

Le tirage peut reprendre après l'installation complète des nouveaux équipements. La construction de l'émissaire se poursuit en toute sécurité à l'aide du bâti de retenue qui permet de doser les efforts et du câble qui garantit le parfait alignement de l'émissaire sur le fond jusqu'à sa cote finale.



Photo 9

Le ski de tirage est monté sur le futur tuyau de tête de l'émissaire pour vérifier la procédure de montage avec les plongeurs

*Pulling ski is attached to the head of the sewer to be built : the mounting procedure is checked by the divers*

#### **Inspection visuelle de l'émissaire**

L'émissaire étant construit, celui-ci est inspecté par l'extérieur à l'aide d'un ROV (Remote Operated Vehicle). Ce matériel sous-marin équipé d'une caméra vidéo embarquée, d'une régie de surface avec écran de contrôle et d'un système d'enregistrement sur support numérique, permet de visualiser les endroits où l'assise du tuyau est insuffisante. Le passage d'une fosse large de 50 m en sortie de tunnel impose la mise en place d'un support sous l'émissaire pour limiter la portée libre à 24 m.

### Phase 6

#### *Essais et travaux de finition*

##### **Essai en pression**

L'émissaire est en place et les essais peuvent commencer en toute sécurité. Le remplissage de l'émissaire par le haut puis la montée en pression jusqu'à 3 bars permet de valider la parfaite tenue de l'émissaire. Le bouchon situé à l'extrémité de l'émissaire saute automatiquement par une montée en pression supérieure de 2 bars à la pression d'épreuve, et remonte à la surface.

##### **Remontée du matériel de tirage**

La poulie et l'ancre sont récupérées depuis la surface, ainsi que l'obturateur et le câble de tirage.

### Phase 7

#### *Raccordement*

##### **Installation d'une nouvelle nourrice**

En amont de l'émissaire se trouve une chambre (local technique), dans laquelle quatre pompes sont raccordées à une nourrice de répartition.

Ces pompes permettent la régulation du débit dans l'émissaire de rejet en mer. Le calcul des pertes de

## La reconstruction de l'émissaire d'eaux usées de la Causinière (06) : un record en forage dirigé



Photo 10

Vue sous marine de l'émissaire vers -104 m  
Underwater view of sewage pipe at -104 m depth

charges a mis en évidence la nécessité de changer la nourrice existante. Une nouvelle nourrice fabriquée sur mesure est installée dans la chambre modifiée. Le nettoyage de l'émissaire se fera par le passage d'un racleur. Un équipement spécifique sera installé dans la nouvelle chambre en tête d'émissaire.

### Phase 8

#### Dépose de l'ancien émissaire

##### Découpe de l'ancien émissaire

Afin d'éviter les plongées profondes, l'ancien émissaire est découpé en tronçons sur sa première partie. Les tronçons sont remontés à l'aide de flotteurs fixés aux extrémités. La deuxième partie de l'émissaire est rapprochée de la cote dans les eaux moins profondes pour être à son tour découpée et évacuée. Et ainsi de suite jusqu'à terminer la phase complète de dépose. ■

### LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

#### Maîtrise d'ouvrage

CANCA Communauté d'Agglomération Nice Côte d'Azur

#### Maître d'œuvre

Direction de l'assainissement de la CANCA

#### Mission pour la rédaction du PDF (programme fonctionnel détaillé)

Groupement bureaux d'études Aciri-In et Hydratec

#### Entreprise générale

Bonna Sabla

#### Sous-traitants

- Société RPS pour le forage dirigé
- Société TSM – BO pour les plongées

### ABSTRACT Reconstruction of the outfall sewer of La Causinière (French Riviera) : a directional drilling record

B. Kocopyr, P. Bris, J.-M. Etchaubard

The La Causinière outfall sewer, installed since 1975 off Saint-Jean Cap Ferrat on the French Riviera, carries out to sea the untreated sewage of the districts of Eze, Beaulieu, Villefranche-sur-Mer and Saint-Jean Cap Ferrat, from the main sewer down to a depth of -104 m, 500 m from the shore at the end of the cape.

Ten years after its installation, the original steel pipe proves to be severely damaged, with numerous cracks, including a large crack 260 m from the shore, through which most of the flow is discharged.

Renovation of the outfall sewer is therefore a priority for the owner, Communauté d'Agglomération Nice Côte d'Azur (CANCA), which has decided to partially rebuild the sewer.

The offshore operations are carried out in several stages : pilot bore of diameter 220 mm down to -35 m; first reaming to diameter 550 mm; second reaming to diameter 840 mm; driving of the new 500 mm diameter outfall sewer and finally removal of the old sewer by cutting out.

This project combines several records : it is the deepest outfall sewer built in France to date, using directional drilling without drilling mud to protect the environment, with an unprecedented angle of attack (48 %).

### RESUMEN ESPAÑOL Reconstrucción del canal de descarga de aguas residuales de la Causinière (06) : un récord en perforación dirigida

B. Kocopyr, P. Bris y J.-M. Etchaubard

Instalado desde 1975 en alta mar frente a Saint-Jean Cap Ferrat en la Costa Azul, el canal de descarga de la Causinière transporta hacia el alta mar las aguas residuales sin tratamiento de los municipios de Eze, Beaulieu, Villefranche-sur-Mer y Saint-Jean Cap Ferrat, desde el colector hasta una profundidad de 104 m, a 500 metros de la costa en el extremo del cabo. Diez años después de su instalación, la tubería original de acero demuestra importantes daños, que presentan numerosas grietas entre las cuales una importante a 260 metros de la costa, por la cual está vertido la parte más importante del caudal. La rehabilitación del canal de descarga pasa entonces a ser una prioridad para la empresa contratante, la Mancomunidad de municipios Nice Côte d'Azur (CANCA) que toma la decisión de la reconstrucción parcial del canal.

La operación marítima se ha llevado a cabo en varias etapas : voladura piloto en diámetro de 220 mm hasta -35 m; primer taladro en diámetro 550 mm; segundo taladro en diámetro 840 mm; tracción del nuevo canal en diámetro 500 mm y finalmente extracción por cortes del antiguo canal de descarga.

Esta obra acumula varios récords : se trata del canal de descarga más profundo construido en Francia hasta la fecha, una perforación dirigida sin lodos para preservar el medio ambiente, con un ángulo de ataque que nunca se había realizado (48 %).

# Réhabilitation d'ouvrages hydrauliques routiers en Guyane.

## Des solutions de remplacement en tranchée et sans tranchée par tubage et fonçage

La Guyane française, située près de l'équateur à la bordure du continent sud-américain possède un patrimoine de 466 km de routes nationales. Elles sont situées en grande partie le long du littoral et relient les principales villes ainsi que les points stratégiques : le Centre spatial guyanais, le port de Dégrad des Cannes et l'aéroport international de Rochambeau.

Le réseau routier comprend environ 850 buses hydrauliques en béton ou métalliques. Suite à des effondrements d'ouvrages en 2000, puis à nouveau en 2004, la DDE de Guyane a décidé d'identifier et de sécuriser les plus critiques de ces ouvrages, en lançant les premiers appels d'offres de travaux de rénovation.

Les solutions techniques suivantes ont été retenues :

- pour les ouvrages profonds, les buses sont réhabilitées par tubage à l'aide de tubes circulaires PRV centrifugés, de coques PRV de type arche, ou renouvelées par fonçage de tubes PRV centrifugés au droit des ouvrages en place;
- pour les autres structures : excavation des buses et remplacement en tranchée par des tubes PRV centrifugés.

Cette opération, qui a concerné sur la période 2004-2006 111 ouvrages hydrauliques, devrait s'achever début 2008. Elle a mis en évidence les avantages des solutions sans tranchée qui se sont révélées très faciles à mettre en œuvre sans perturber l'exploitation des routes ou affecter le milieu naturel forestier équatorial.

Mots clés : tubage, réhabilitation, fonçage, PRV, pluvial

### Le contexte de l'opération

La Guyane, département français d'outre-mer de près de 83 500 km<sup>2</sup> situé près de l'équateur, est la seule parcelle de communauté européenne en bordure du continent sud-américain (figures 1 et 2).

Son réseau routier national (RRN) longe le littoral, de la frontière du Brésil à l'est à celle du Surinam à l'ouest, sur 464 km et dessert plus de 95 % de la population. Il connecte les grandes villes (Cayenne, Kourou et Saint-Laurent) et les points stratégiques économiques (centre spatial guyanais, port de Dégrad des Cannes, aéroport Rochambeau). Il constitue

l'épine dorsale du réseau routier Guyanais. Le dernier maillon de cette chaîne, le pont sur l'Approuague vers le Brésil a été ouvert début 2004.

Actuellement, le RRN est au centre de l'activité économique de la Guyane. Il assure la liaison aéroport-CSG (trajet des satellites), l'approvisionnement en biens de consommation (via le port de Dégrad des Cannes) et en produits agricoles, le transport émanant de la filière bois de Guyane et la totalité du transport émanant du secteur des travaux publics (l'un des principaux employeurs de Guyane).

Prochainement, côté RN1, la création de deux nouveaux pas de tir – Soyouz et Vega – nécessite de renforcer la liaison Cayenne-Kourou (transports exceptionnels en forte progression). De même, l'extraction de nouvelles carrières vers Saint-Laurent et la forte progression des transports induits nécessiteront une remise au gabarit des ouvrages d'art.

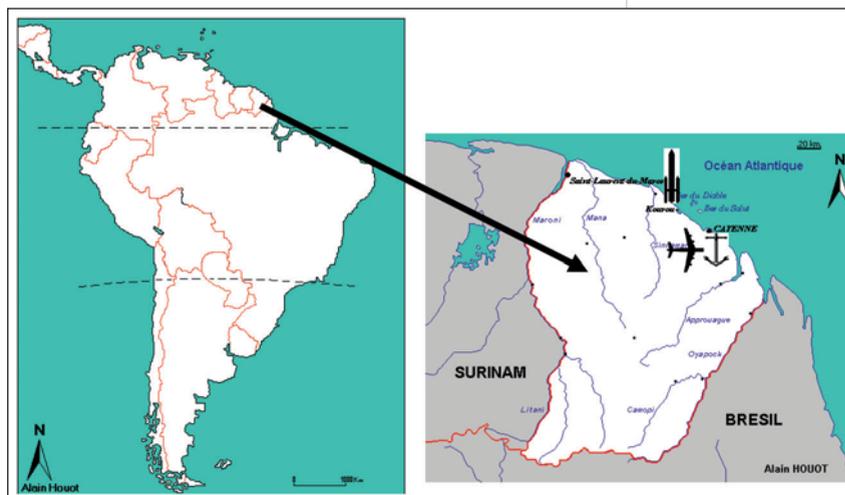
Côté RN2, l'ouverture de nouvelles voies forestières entre Régina et Saint-Georges et d'une mine à ciel ouvert (gisement aurifère) ainsi que l'augmentation du trafic de tourisme et d'échange de produits manufacturés avec le Brésil avec l'achèvement du pont sur l'Oyapock, devront s'accompagner d'une mise à niveau de l'itinéraire.

Près de la moitié de la population a moins de 20 ans. Plus généralement, la Guyane connaît une démographie vigoureuse de près de 3 % et par conséquent un accroissement des déplacements (études, travail, loisirs).

Par ailleurs, les investissements doivent intégrer un coût de construction plus élevé qu'en métropole (+31 %) lié à l'éloignement et à l'isolement du territoire.

Figures 1 et 2

Situation géographique de la Guyane  
Geographic location of French Guiana



**Norbert Cheminot**  
Ingénieur Travaux  
DLE Travaux Spéciaux  
Eiffage Travaux Publics  
Réseaux



**Jean-Luc Coetmeur**  
Directeur  
DLE Outre-Mer Antilles  
Guyane  
Eiffage Travaux Publics  
Réseaux



**Jean-Marie Joussin**  
Directeur général  
Hobas France



**Siegfried Mahieux**  
Bureau d'études  
DDE de Guyane

## Réhabilitation d'ouvrages hydrauliques routiers en Guyane. Des solutions de remplacement en tranchée et sans tranchée par tubage et fonçage

Photo 1

Rupture d'un ouvrage  
métallique

*Failure of a steel  
structure*



Photo 2

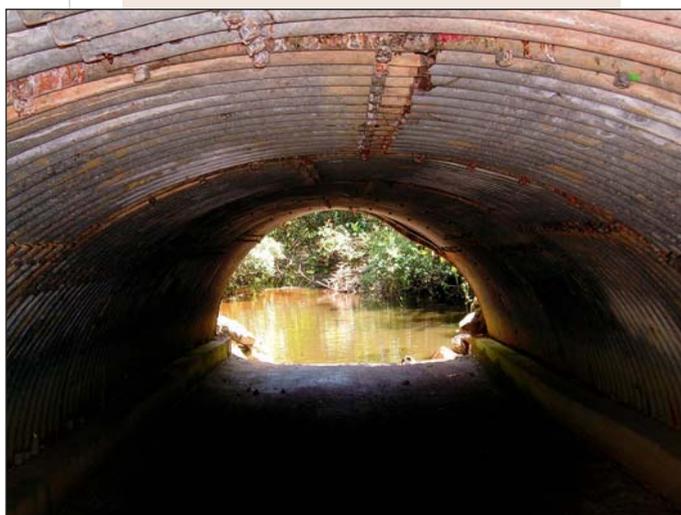
Travaux de réparation en urgence avec création  
d'une déviation routière

*Emergency repair work with the establishment of a road  
diversion*

Photos 3 et 4

Buses métalliques  
présentant des corrosions  
internes, des ruptures  
de plaques, une forte  
ovalisation

*Steel culverts showing  
internal corrosion, plate  
failures and major  
out-of-roundness*



### ■ Le patrimoine des buses hydrauliques du réseau routier national de la Guyane

Le patrimoine des passages hydrauliques de type buses sur le réseau routier national, est constitué de plus de 850 ouvrages. Parmi ceux-ci, 380 ouvrages environ sont de type métallique Armco ou Tubosider circulaire, ou en arche (200), et sont majoritairement situés en zone forestière et humide.

La plupart de ces ouvrages posés dans les années 70-90, (les plus récents étant en béton), lors de la transformation en route de la piste existante, arrivent aujourd'hui en fin de vie. La ruine de certains d'entre eux (photo 1) a d'ailleurs provoqué plusieurs coupures de voies de circulation en 2000, au moment des fortes précipitations de la saison des pluies. Des travaux de réparations urgents et coûteux – nécessitant la construction de pistes de déviation potentiellement dommageables à la forêt –, ont été engagés alors (photo 2).

La DDE de la Guyane a alors lancé un programme de recensement des ouvrages hydrauliques dont beaucoup n'étaient même pas localisés. Une première phase de recensement a été entreprise par les subdivisions de travaux en 2000 et 2001.

Un premier bilan dressé en 2002, a donné une image d'ensemble de ce patrimoine : un large tiers des ouvrages métalliques et de nombreux ouvrages béton présentaient de graves désordres (photos 3, 4, 5 et 6)... Au vu de ces résultats les premiers travaux de réhabilitation ont été lancés en 2003 mais de nouveaux accidents se produisirent.

Deux missions complémentaires ont alors été confiées au CETE de Blois en 2004, la première en avril-mai et la deuxième en octobre, qui ont affiné le recensement

Photo 5

Buse métallique avec trous en radier  
Steel culvert with holes on a deck



déjà réalisé en fournissant une évaluation détaillée de l'état des ouvrages. Près de 50 % d'entre eux furent classés « 3 » ou « 3U », selon l'analyse multicritère IQOA (image qualité des ouvrages d'art) développée par le ministère de l'Équipement [1], nécessitant un remplacement rapide (tableau I). Cette campagne menée sur 350 ouvrages métalliques a permis d'établir pour chacun d'entre eux un procès-verbal de visite descriptif. Les principales pathologies relevées sont reprises dans le tableau II (figure 3) [2].

### ■ À la recherche d'une solution pérenne

Les solutions techniques élaborées pour les travaux devaient répondre à différents critères (cf. tableau III). Différentes techniques ont été envisagées comme le renforcement par béton haute performance – projeté ou coffré à l'intérieur de la buse – ou le renforcement à l'aide d'un chemisage continu en matériau synthétique polymérisé *in situ*. Ces solutions n'ont finalement

Figure 3

Mesure de l'épaisseur de métal résiduelle par ultrasons.  
Carte de corrosion  
Ultrasonic measurement of the residual metal thickness.  
Corrosion map

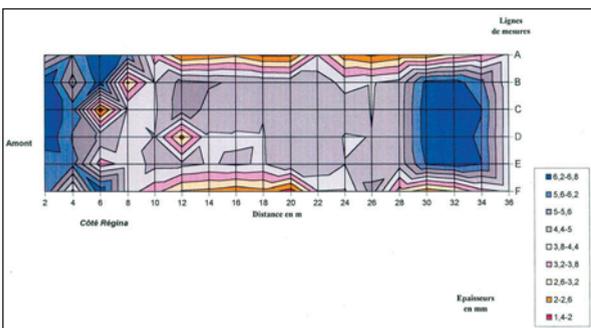


Photo 6

Ouvrage béton avec radier dégradé, perte de mortier, infiltrations  
Concrete structure with damaged deck, loss of mortar and seepage

<b>Classe 1 :</b>	Ouvrage en bon état apparent relevant de l'entretien courant au sens de l'instruction technique du 19 octobre 1979
<b>Classe 2 :</b>	Ouvrage dont la structure est en bon état apparent ou présente éventuellement des défauts mineurs mais qui nécessite un entretien spécialisé sans caractère d'urgence
<b>Classe 2E :</b>	Ouvrage dont la structure est en bon état apparent ou présente éventuellement des défauts mineurs mais qui nécessite un entretien spécialisé urgent, pour prévenir le développement rapide de désordres dans la structure
<b>Classe 3 :</b>	Ouvrage dont la structure est altérée et qui nécessite des travaux de réparation sans caractère d'urgence
<b>Classe 3U :</b>	Ouvrage dont la structure est gravement altérée, et qui nécessite des travaux de réparation urgents liés à l'insuffisance de capacité portante de l'ouvrage ou à la rapidité de l'évolution des désordres y conduisant à brève échéance

Tableau I

Grille d'évaluation IQOA de l'état apparent  
"IQOA"  
(structural quality imaging) grid for evaluation of the apparent state

Localisation du défaut	Description du défaut
Profil en long	Affaissement général avec stagnation d'eau. Affaissement localisé entraînant d'importantes déformations des tôles et de cisaillement au droit des assemblages.
Section transversale (hors extrémités)	Pour les buses de type « arche » aplatissement vertical (ovalisation > 10%). Rupture des assemblages horizontaux. Inversion de courbure du radier .
Structure	Corrosion du métal (cf. figure 3) . Abrasion. Perforation du métal.
Fil d'eau	Décalages. Abrasion du radier. Dépôts, obstacles. Cheminement d'eau sous la buse.

Tableau II

Principales pathologies des buses métalliques  
Main pathologies of steel culverts

## Réhabilitation d'ouvrages hydrauliques routiers en Guyane. Des solutions de remplacement en tranchée et sans tranchée par tubage et fonçage

Critère	Description
Exploitation	Possibilité ou non de déviation de la route
Climatique	Risque de pluies intenses
Hydraulique	Capacité hydraulique à assurer. Augmentation de la capacité.
Chimique	Eaux de ruissellement acides avec pH compris entre 3 et 6,5 (acide humique)
Mécanique	Résistance à l'abrasion du au charriage de sables. Charges d'exploitation lourdes (croisement de 2 grumiers de 72 t)
Environnement géotechnique immédiat	Nature et comportement du remblai. Présence de souches à proximité des ouvrages.

Tableau III

Critères considérés pour la recherche de solutions techniques

*Criteria considered in the search for technical solutions*

Photos 7 et 8

Tubage par coque PRV  
et fonçage de tubes PRV  
*Lining with GRP shell  
and driving of GRP pipes*



pas été retenues pour des raisons économiques et une mise en œuvre plus contraignantes et plus risquée, compte tenu de l'état d'accueil des ouvrages en place.

### ■ Réalisation des travaux

Parmi les offres proposées par les entreprises soumissionnaires, les solutions suivantes ont été retenues après analyse comparative :

- pour les ouvrages sous une hauteur de remblai de plus de 4 m ne nécessitant pas d'accroissement de débit, et de section circulaire de DN 700 à 1200 : tubage à l'aide de tubes PRV (polyester renforcé de verre) avec joint non débordant ;
- pour les ouvrages de section non circulaire de type arche et supérieure à 1,5 m<sup>2</sup> ne nécessitant pas d'accroissement de débit : tubage par coques PRV (photo 7) ;
- pour les ouvrages sous une hauteur de remblai supérieure à 6 m ne permettant pas un tubage : fonçage de tubes PRV en lieu et place de la buse dégradée démontée à l'avancement du fonçage (photo 8) ;
- pour les autres ouvrages : excavation en tranchée des buses dégradées et remplacement par des tubes PRV (photo 9 et 10).

Les tubes PRV centrifugés, mis en œuvre en tranchée, par fonçage ou par tubage sont spécifiquement conçus à cet effet et adaptés aux conditions d'exploitation particulièrement contraignantes de ce projet. Ils répondent à l'ensemble des critères précédemment décrits. Ils sont insensibles à la corrosion et dimensionnés pour une durée de vie minimale de 50 ans. Leur coefficient de rugosité très favorable, avec un Manning Strickler typiquement de 100 à comparer aux 40 ou 50 au mieux des ouvrages en place, ainsi que leur résistance à l'abrasion, en font des solutions hydrauliques pérennes et très performantes (figure 4).

La pose en tranchée a été privilégiée sur la plupart des ouvrages, pour des raisons économiques liées à leur faible profondeur. Des tubes PRV centrifugés standards, de longueur unitaire de 5,65 m PN1 SN 10000, de DN 800 à 1700 assemblés par manchons FWC, ont été utilisés. Le dimensionnement et la mise en œuvre ont été faits selon les principes décrits dans le Fascicule 70 du CCTG. Malgré sa simplicité apparente (mise en place par demi-chaussée des tubes en lieu et place des buses arrachées à la pelle) ce procédé a présenté quelques inconvénients comme la gêne à la circulation et les problèmes de sécurité en décollant, mais surtout les risques de déstabilisation des remblais latéritiques et d'endommagement de la chaussée notamment en cas d'épisodes pluvieux intenses, fréquents sous l'équateur!

À l'issue de la période 2004-2006, 111 ouvrages ont



Photos 9 et 10

Remplacement de buses en tranchée par mise en œuvre de tubes PRV standards

Replacement of culverts in the trench by laying standard GRP pipes



été réhabilités, soit en remplacement classique, soit par une technique de travaux sans tranchée qui limite les gênes occasionnées en phase de chantier. La part du coût des travaux sans tranchée représente environ 1/3 des 9,2 M€ déjà engagés (tableau IV).

### ■ Caractéristiques des différents tubes et coques PRV utilisés en technique sans tranchée

Les solutions sans tranchée proposées sont particulièrement discrètes et sans conséquences sur les conditions d'exploitation des ouvrages. Elles sont également appliquées sans aucune dérivation des écoulements. Les tubes PRV centrifugés et les coques PRV ont été retenus car ils sont évalués, aussi bien par l'entrepreneur que par le bureau d'études, comme étant les plus fiables sur le plan technique.

### Tubes PRV de fonçage et de retubage

En fonction de la profondeur et de l'état de l'ouvrage en place, c'est la technique de fonçage ou bien celle du

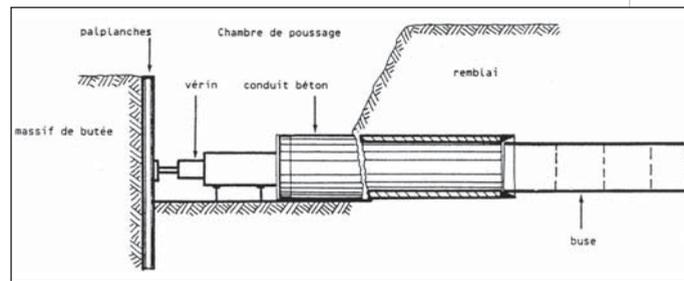


Figure 4

Schéma de principe de la technique « fonçage horizontal en lieu et place d'une buse métallique en place »

Schematic diagram of the technique for "horizontal driving to replace a steel culvert in place"

Technique employée	Nombre	% par rapport au nombre remplacé	% par rapport au coût de l'opération
Remplacement	96	86,5	65,1
Fonçage	5	4,5	9,6
Tubage circulaire	4	3,6	3,9
Chemisage (Coque section >1,5 m <sup>2</sup> )	6	5,4	21,4
<b>Totaux</b>	<b>111</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Tableau IV

Ouvrages réalisés à l'issue de la période 2004-2006  
Structures executed by the end of the period 2004-2006

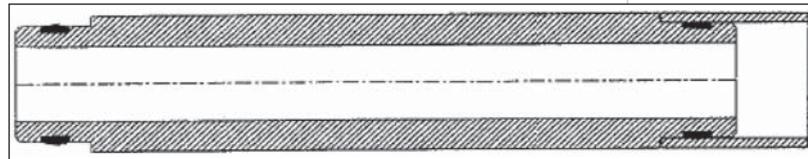


Figure 5

Schéma d'un tube PRV centrifugé pour tubage et fonçage  
Diagram of a centrifuged GRP pipe for lining and driving

tubage qui a été appliquée. Les tubes PRV centrifugés mis en œuvre sont équipés d'assemblages usinés avec manchette non débordante (figure 5).

Les critères suivants ont été appréhendés au stade de la préparation des travaux :

- design définitif. L'épaisseur et la rigidité des tubes sont calculées en considérant les caractéristiques géométriques de l'ouvrage en place, les données géotechniques (le remblai est généralement constitué de latérite parfois graveleuse et très sensible à l'eau), les conditions d'exploitation ultimes (trafic, nappe et charges de terre) ainsi que les caractéristiques des produits PRV envisagés. Les calculs mécaniques ont été faits selon les recommandations du Projet national Microtunnel [5] pour les tronçons en fonçage et de RERAU pour ceux en tubage [4];
- l'environnement immédiat des ouvrages avec présence de souches d'arbres, ce qui a privilégié le fonçage en ligne avec ouvrages;
- les procédures de mise en œuvre;
- l'injection de coulis pour le tubage et de produits de lubrification pour le fonçage;
- validation de solutions pour les ouvrages de tête amont et aval.

Réhabilitation d'ouvrages hydrauliques routiers en Guyane.  
Des solutions de remplacement en tranchée et sans tranchée par tubage et fonçage

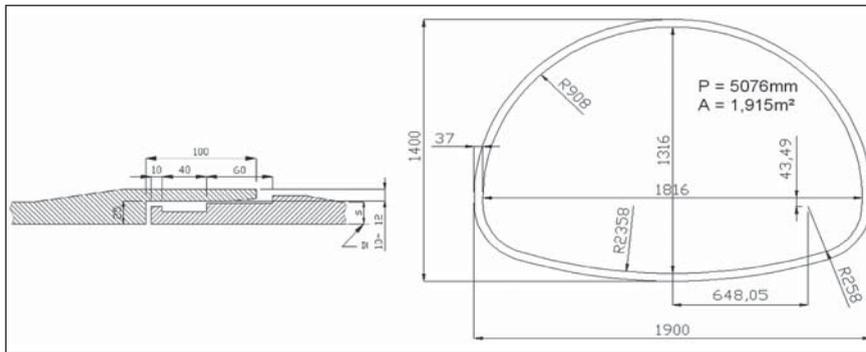


Figure 6

Une des coques PRV utilisées et détail du joint

One of the GRP shells used and detail of the joint

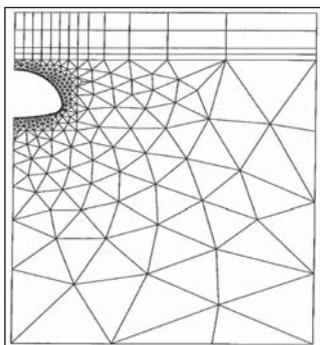


Figure 7

Modélisation ouvrage pour calcul aux éléments finis  
Structure modelling for finite-element calculation



Les tronçons en fonçage ont été réalisés avec des tubes PRV de DN/OD 1100 et 1229, installés en ligne avec les ouvrages en place qui étaient démontés ou découpés au fur et à mesure de l'avancement du creusement (figure 5). La force maximale admissible de poussée (196 t pour les tubes DN/OD 1100 SN 40000 et d'épaisseur 38 mm; 229 t pour les tubes DN/OD 1229 SN 32000 et d'épaisseur 40 mm) répondait aux contraintes du chantier (tirs maxi de l'ordre de 38 m). Les travaux se sont déroulés sans incidents particuliers.

Les coques PRV

Les coques PRV NC Line utilisées sont fabriquées sur mesure par un procédé automatisé d'enroulement des différents composants résine polyester, fibres de verre et sable de quartz. Ces « tubes » sont équipés d'un système d'assemblage étanche de type emboîtement avec garniture d'étanchéité EPDM (figure 6).

Les critères suivants ont été examinés au stade de la préparation des travaux :

- la section en arche des coques qui variait de 1260 x 1660 à 2050 x 3200. La forme idéale a été fixée après avoir vérifié les dimensions des ouvrages en place en tenant compte des défauts de pente et d'alignement (photos 11 et 12);
- design final. L'épaisseur des coques est calculée en considérant leurs dimensions, les données géotech-



Photos 11 et 12

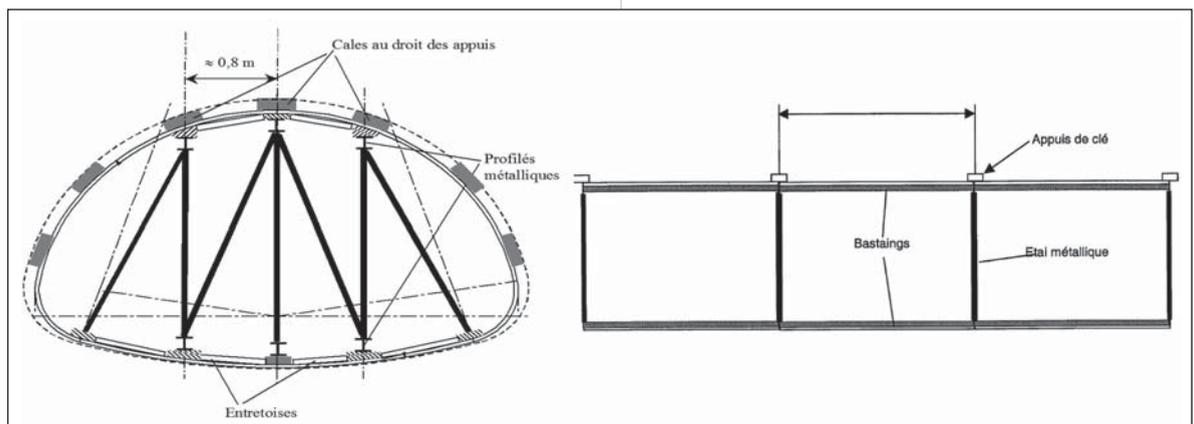
Passage d'un gabarit dans l'ouvrage à réhabiliter et installation des coques

Inserting a gauge in the structure to be renovated and installing shells

niques et les conditions d'exploitation ultimes. Les calculs mécaniques ont été faits selon les recommandations du Projet national RERAU, en considérant la résistance résiduelle des ouvrages en place comme nulle (système auto-structurant) et en utilisant la méthode des éléments finis, approche la mieux adaptée dans ce cas (figure 7);

Figure 8

Étaie des coques PRV 2050 x 3200 avant injection du vide annulaire  
Shoring of 2050 x 3200 mm GRP shells before grouting of the annular space



- les procédures d'installation : chaque coque de longueur unitaire 2 m (adaptée aux containers maritimes) est tirée sur un rail, assemblée aux éléments déjà positionnés et solidement calée;
- l'injection du vide annulaire et l'étalement. Après achèvement d'un tronçon le vide annulaire est rempli avec un coulis à base de ciment et de sable fin. Un étalement dimensionné à cet effet construit en bois local est temporairement mis en œuvre (figure 8);
- validation de solutions pour les ouvrages de tête amont et aval.

Tous les tronçons réhabilités et ce, quelles que soient la dimension des ouvrages et leur longueur (jusqu'à 45 m), ont été achevés dans des délais très courts ne dépassant pas 3 semaines de travaux.

## ■ Bilan et conclusion

Tous les partenaires publics ou privés sont particulièrement satisfaits du déroulement de ce grand chantier de réhabilitation des ouvrages hydrauliques du réseau de routes nationales de Guyane. Réaliser un tel projet jalonné de nombreuses difficultés constituait un véritable challenge technique, des premières investigations à la réalisation des travaux. Le panel de solutions techniques utilisées – associant différents systèmes sur mesure de tubes et coques PRV – s'est révélé conforme aux attentes du maître d'ouvrage.

Elles seront de nouveau considérées pour les derniers ouvrages classés 3 ou 3U qui restent à réhabiliter pour sécuriser le réseau routier de Guyane. ■

## ■ Références

- [1] Guide de visite en subdivision, 1996, Sétra, F 9630PV, N° ISBN 2-11-085782-X.
- [2] Catalogue des désordres « buse métallique », 1996, Sétra, F 9641C, N° ISBN 2-11-085782-X.
- [3] Guide pour la surveillance spécialisée, l'entretien et la réparation, 1992, Sétra, N° ISBN 2-11-085717-X.
- [4] Projet National RERAU 4, REhabilitation de Réseaux d'Assainissement Urbain, Restructuration des collecteurs visitables, published in 2002-2004, Éditions Tec & Doc
- [5] Projet National Microtunnel et Forages Dirigés, publié en 2004, Hermès Sciences.

## ABSTRACT

### *Renovation of highway hydraulic structures in French Guiana. Trench and trenchless techniques for replacement by lining and driving*

N. Cheminot, J.-L. Coetmeur,  
J.-M. Joussin, S. Mahieux

*French Guiana has 466 km of national highways. They are largely located along the coastline, linking the main towns and strategic points : the Guiana Space Centre, Dégrad des Cannes Port and Rochambeau International Airport.*

*The road network includes about 850 concrete and steel culverts. Following the collapse of structures in 2000, then again in 2004, the Departmental Directorate of Equipment (DDE) of Guiana decided to identify and improve the safety of the most critical of these structures, by issuing the first invitations to tender for renovation work.*

*The following technical solutions were adopted :*

- *For deep structures, the culverts are renovated by lining with circular centrifuged GRP pipes and arch type GRP shells, or replaced by driving centrifuged GRP pipes at the level of the structures in place;*
- *For other structures : excavation of the culverts and replacement in the trench with centrifuged GRP pipes.*

*This project, which covered 111 hydraulic structures over the period 2004-2006, is due to be completed in early 2008. It has highlighted the advantages of trenchless solutions, which proved very easy to apply without disturbing use of the highways or affecting the natural equatorial forest environment.*

## RESUMEN ESPAÑOL

### *Rehabilitación de estructuras hidráulicas viales en Guyana. Desde las soluciones de sustitución en zanja y sin zanja por entubado y excavación horizontal*

N. Cheminot, J.-L. Coetmeur,  
J.-M. Joussin y S. Mahieux

*La Guyana francesa posee un patrimonio de 466 km de carreteras nacionales, que se encuentran ubicadas para la mayor parte a lo largo del litoral y ponen en comunicación las principales ciudades así como los puntos estratégicos : el Centro espacial de Guyana, el puerto marítimo de Dégrad des Cannes y el aeropuerto internacional de Rochambeau.*

*La red vial incluye, aproximadamente, 850 conductos hidráulicos de hormigón o metálicos. A raíz del hundimiento de estructuras en 2000, y de nuevo en 2004, la DDE de Guyana tomó la decisión de identificar y proteger las obras que presentan mayor criticidad, lanzando las primeras licitaciones para trabajos de renovación. Las siguientes soluciones técnicas fueron adoptadas :*

- *para las estructuras profundas, los conductos se rehabilitan por entubado mediante tubos circulares PRV centrifugados, de cascos PRV de tipo arco, o renovadas por excavación horizontal de tubos PRV centrifugados en la derecha de las obras existentes;*
- *para las demás estructuras : excavación de los conductos y sustitución en zanja por tubos PRV centrifugados.*

*Esta operación, que se refiere para el período 2004-2006 a 111 estructuras hidráulicas, debería finalizarse a principios de 2008. Esta operación ha permitido poner de manifiesto las ventajas de las soluciones sin zanja que han demostrado una implementación muy sencilla sin perturbar la explotación de las carreteras o afectar el entorno natural forestal ecuatorial.*

# Les grands corridors s'intéresseront de plus

**Il est bon de rappeler, à l'occasion de l'année Polaire internationale 2007-2008, que l'océan Glacial Arctique et ses périphéries américaine et euro-asiatique seront particulièrement touchés par le réchauffement climatique; le recul de la banquise y libérera complètement avant la fin du siècle et toute l'année durant de nouveaux chenaux est-ouest de navigation côtière pour grandes unités, d'abord côté russo-sibérien puis côté américain.**

**Ces nouveaux itinéraires maritimes nordiques bouleverseront l'organisation mondiale des transports de masse où domineront dans l'Arctique les deux seuls grands ports actuels de Mourmansk et Arkhangelsk; ceci donnera un avantage certain à la Russie, mais générera pour plusieurs décennies futures des conflits d'influence commerciale et militaire.**

Alpha); son bassin, fermé aux trois-quarts par les côtes septentrionales de l'Amérique du Nord, de l'Europe et de l'Asie s'ouvre sur le Pacifique par le détroit de Behring et sur l'Atlantique de part et d'autre du Groenland; avec, sur son pourtour américain, l'immense archipel du Canada polaire et, côté euro-asiatique, des archipels plus réduits (Svalbard-Spitzberg, Nouvelle Zemble, îles de Nouvelle Sibérie, etc.) émergeant du plateau continental sous-marin; plateau assez réduit côté canadien (mers de Beaufort, de Melville et de Baffin) et s'étendant au contraire sur près de 700 km au large des côtes sibériennes (mers de Barents, de Kara, de Laptev et des Tchouktches) (figure 1).

Cet océan Glacial, qu'il soit ou non libre de glaces toute l'année ou une partie de l'année, est partiellement navigable sur les mers bordières précitées (quelques mois par an côté russo-sibérien, nettement moins côté canadien), en bordure de cinq nations (figure 2). Ces cinq nations y détiennent (sous forme le plus souvent conflictuelle, on le verra) d'importantes ressources énergétiques, minières et naturelles (halieutiques et forestières), sans oublier un pactole touristique vraisemblable pour le milieu du XXI<sup>e</sup> siècle. Il s'agit de la **Fédération de Russie** (occupant près de 40 % de la périphérie côtière qu'elle domine largement, et de plus il ne faut jamais oublier qu'aux 7000 km de côtes russes sur l'Arctique s'ajoutent 7000 autres kilomètres de côtes russes sur le Pacifique entre le détroit de Behring, la presqu'île du Kamtchatka et la Corée du Nord); du **Canada** (30 %); du **Danemark** (avec le Groenland et les îles Féroé); de la **Norvège** avec l'archipel du Svalbard-Spitzberg; et des **États-Unis**, parent pauvre de la bordure de l'Arctique (moins de 10 % avec l'Alaska, 49<sup>e</sup> État de l'Union depuis 1959) : situation dès maintenant lourde de conséquences pour les USA dans la rivalité arctique internationale. L'Islande, la Suède et la Finlande n'ont pas de côte sur l'Arctique mais appartiennent aux nations circumpolaires.

La calotte arctique au nord du cercle polaire couvre 8 % de la surface du globe mais ne compte qu'à peine 1 % de la population mondiale, les trois-quarts des habitants de l'Arctique vivant en Russie. Mais c'est une région fondamentale pour l'avenir économique de la planète en raison des richesses considérables en ressources non renouvelables et renouvelables qu'elle détient.

Les premières concernent :

- le nord du continent russe, riche en minerais (nickel, kimberlite, fer, phosphates, apatite de la presqu'île de Kola; cuivre, nickel, cobalt du bassin de Petchora en Sibérie occidentale; étain, or, diamants, ainsi que diverses ressources minières souterraines encore

Figure 1

L'océan Glacial Arctique centré sur le pôle Nord  
*The glacial Arctic Ocean centred on the North Pole*



## ■ Le cadre de l'Arctique (géographique, politique, économique et diplomatique)

D'abord un bref rappel des caractéristiques de la calotte nordique de la planète, entièrement occupée, autour du pôle Nord en son centre, par l'océan Glacial Arctique, largement couvert par une banquise permanente plus ou moins épaisse (jusqu'à 3 m vers le pôle) et surplombant des fonds atteignant 5000 m et alternant avec quelques dorsales approximativement est-ouest (dorsales Nansen - Gaskell; Lomonosov;

# mondiaux de transport en plus à l'Arctique

**Jean-Antoine Winghart**  
*Consultant géopolitique des transports*  
*Président d'honneur des Autoroutes Paris-Rhin-Rhône*

inconnues ou stratégiquement cachées en Sibérie orientale). Mais aussi particulièrement riche en réserves énergétiques (30 % peut-être des réserves mondiales d'hydrocarbures; richesses gazières du plateau continental sibérien; gisements actuels terrestres de la Petchora, et offshore de Schtockmanovskoye, etc.);

- le nord du Canada, avec une gamme de minerais dont la recherche n'est pas encore très poussée (plomb, zinc, or, tungstène, uranium), et des ressources considérables en gaz naturel;
- l'Alaska pétrolier, où les protections environnementales opposées aux extractions par le Sénat américain depuis 1960 ne dureront sans doute plus très longtemps;
- la Norvège, qui ne possède que 1 % des réserves actuellement connues du pétrole mondial mais qui est un important exportateur de gaz et d'hydrocarbures (90 % de la production de son plateau continental).

C'est sans doute sur le plan énergétique que l'Arctique va être prochainement le plus sollicité, notamment la mer de Barents et les côtes sibériennes, pour répondre à la demande sans cesse croissante en pétrole et en gaz de la part de la Chine, de l'Inde, et des États-Unis (qui à l'horizon 2015 n'assureront plus eux-mêmes que 30 % de leur consommation d'hydrocarbures contre 70 % actuellement), et le marché énergétique de l'Arctique va constamment accroître son attractivité.

Les secondes concernent :

- les réserves halieutiques des côtes du Labrador, du Groenland, de la mer de Barents et de la mer de Behring (dont l'ensemble constitue l'une des plus grandes réserves de poissons du monde), qui vont sans doute s'enrichir de l'arrivée d'espèces subarctiques migrant vers le nord du fait du réchauffement climatique mais qui seront de plus en plus menacées par les pollutions de l'ouverture de l'Arctique à la navigation et à la gestion des ressources industrielles précitées;
- la réserve d'eau douce des inlandis groenlandais;
- l'avenir encourageant du tourisme nordique en Alaska, au Groenland, au Spitzberg etc. : pêche au trou dans les lacs glacés du nord de la Suède et de la Finlande, croisières sibériennes à bord de brise-glace à propulsion nucléaire dont la clientèle va sans doute s'accroître dans la première moitié du XXI<sup>e</sup> siècle, etc.

Pour résumer, l'US Geological Survey estime actuellement que l'Arctique pourrait receler grosso modo le quart de toutes les réserves non découvertes de la planète.

Cet horizon prometteur de l'avenir arctique (aux-

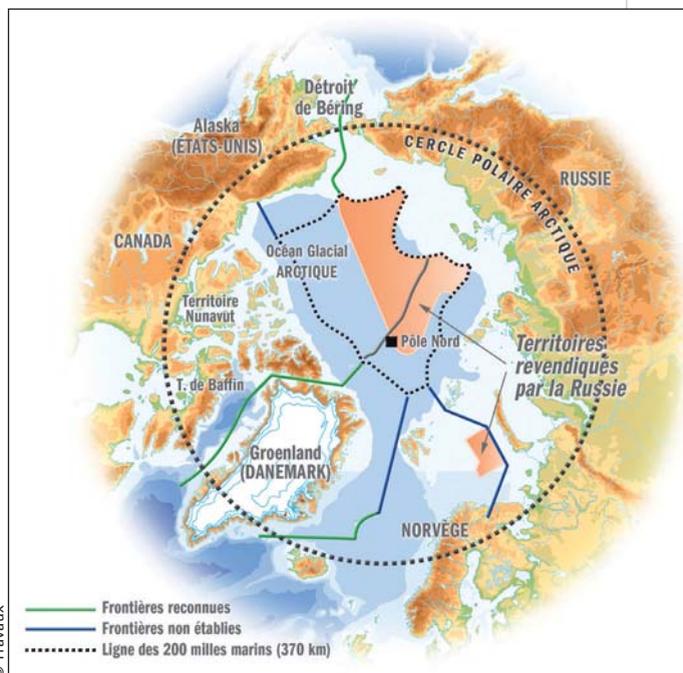


Figure 2

L'Arctique et la théorie des secteurs.

Source : Université de Durham, UK

*The Arctic and the theory of sectors. Source : Durham University, UK*

quelles s'ajouteront, on va le voir, certaines conséquences positives du réchauffement climatique de tout l'environnement du pôle Nord ne doit cependant pas masquer le handicap des conditions extrêmement dures de vie, voire de survie régnant sur le site et y générant de multiples difficultés :

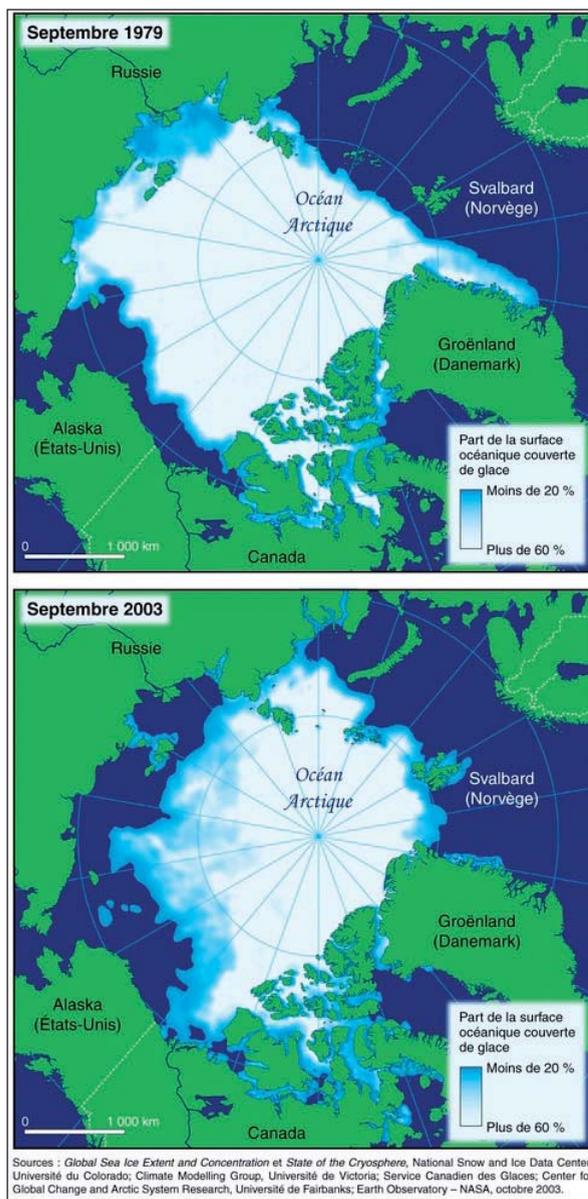
- régions battues par les vents, températures pouvant descendre jusqu'à - 70 °C (mais contraintes naturelles en moyenne un peu moins rudes du côté sibérien que du côté canadien);
- absence de réseaux organisés de transports terrestres et maritimes est-ouest de bout en bout, mais avec des antennes terrestres nord-sud en dents de peigne dont une seule aux caractéristiques modernes : la liaison rail-route Saint-Petersbourg – Mourmansk, la plus nordique de la planète; les autres desservent les rares ports arctiques plus ou moins temporairement dans l'année bloqués par la banquise : Churchill au Canada, une demi-douzaine de mini-ports sibériens; Mourmansk (libre de glace grâce au Gulf Stream) et Arkhangelsk (bloqué plusieurs mois à la navigation ordinaire) faisant exception par leur importance internationale puisqu'ils constituent, et c'est capital pour la Russie, les deux plus grands ports actuels sur toute la périphérie arctique.

Plus précisément les liaisons maritimes est-ouest (indispensables à l'exportation des ressources minières, énergétiques, halieutiques et forestières) sont étroitement dépendantes non seulement de la situation géographique et de l'évolution saisonnière de la banquise mais aussi des caractéristiques du parc maritime (porte-containers, vraquiers, supertankers, brise-glace). Les Russes semblent pour l'instant leaders dans

Figure 3

La banquise arctique à son retrait annuel de septembre (cas de l'année 2003)

*The Arctic ice floe at its annual retreat in September (case of 2003)*



Sources : Global Sea Ice Extent and Concentration et State of the Cryosphere, National Snow and Ice Data Center, Université du Colorado; Climate Modelling Group, Université de Victoria; Service Canadien des Glaces; Center for Global Change and Arctic System Research, Université de Fairbanks; Earth Observatory - NASA, octobre 2003.

les technologies maritimes avancées : les plus puissants brise-glace russes nucléaires peuvent actuellement traverser des banquises de 2 m d'épaisseur maximale en y créant un chenal de 30 m de large; l'utilisation de navires à double coque ou à coque renforcée est tout aussi importante (tout en renchérissant les coûts d'exploitation et d'assurances) pour éviter tout à la fois le danger pérenne, même sur un océan dégagé de la banquise ou à banquise résiduelle, des icebergs menaçants à la dérive (le naufrage du Titanic) et le risque d'un chenal se refermant comme un étau derrière le brise-glace. Même si le transport maritime d'hydrocarbures par mer exige 1,5 fois moins d'investissement que le transport par pipes, la Russie comme le Canada auront aussi tendance à développer ce dernier mode de transport.

### ■ Les effets du réchauffement climatique sur la calotte nordique

La majorité des scientifiques s'accorde à reconnaître que le réchauffement climatique va devenir très progressivement un événement majeur lié à l'effet de serre (principalement dû à l'augmentation de la concentration de l'air en vapeur d'eau, en méthane et en gaz carbonique libéré par les activités humaines) et à la dégradation de la couche d'ozone : événement majeur dont on parle encore trop peu, qui marquera profondément le déroulement du XXI<sup>e</sup> siècle, à commencer par la modification drastique du climat de toute la planète (où jouera le rôle capital des échanges atmosphériques qui se font entre les deux pôles et l'équateur) et par l'évolution de la circulation des grands courants océaniques mondiaux.

Comme on l'a écrit : « dans les années 80, le signal était ambigu; dans les années 90 la tendance est devenue nette; dans les années 2000 elle est manifeste » : l'Arctique fond et continuera de fondre car, compte tenu des égoïsmes implacables de quelques grandes nations comptées sur les doigts d'une seule main, l'effet de serre risque de continuer à s'amplifier.

Mais l'un des impacts les plus tangibles de ce réchauffement concerne déjà l'océan Glacial Arctique dont les glaces ont commencé à se réduire continuellement en été et sur des périodes qui s'allongent petit à petit : la banquise permanente fond progressivement, subissant un retrait réel depuis une quinzaine d'années, que ce soit au large de la Sibérie ou dans l'archipel du nord du Canada; son amincissement progressif laisse entrevoir sa dislocation à terme et sa disparition presque totale au moins en périphérie et à part quelques icebergs isolés, lors d'étés de plus en plus longs, d'ici 2040 à 2050. Et à cette fonte de la glace d'été s'ajoute actuellement, alors que le couvert de glace se reforme automatiquement en hiver, un début de réduction de la glace d'hiver à son maximum de février (baisse de 7 % de la surface de glace d'hiver arctique observée par satellite entre 2003 et 2006).

Depuis 1960, la surface totale de la banquise permanente de l'océan Arctique a ainsi diminué de 14 %, et de 6 % depuis 1978; son épaisseur s'est réduite de 42 % depuis 1958; les données satellitaires de la Nasa indiquent que la surface du couvert de glace à son minimum de septembre (figure 3) a diminué dans l'ensemble de l'Arctique de 21,3 % entre 1992 et 2006 (1,3 million de km<sup>2</sup>), tandis que les sonars sous-marins révèlent une réduction moyenne de 40 % de l'épaisseur de la glace permanente, passant de 3 m à 1,8 m.

Une certaine incertitude demeure bien entendu sur la pérennité du phénomène et sur sa vitesse réelle, mais

il est indéniable qu'actuellement, dans l'Arctique russe, la saison de navigation d'été (avec ou sans une escorte de sécurité minimale), habituellement de juillet à octobre, s'étend maintenant presque chaque année au mois de novembre voire au début de décembre et en commençant le plus souvent en juin.

Les climatologues en viennent à craindre un emballement de ce retrait des glaces dû à l'effet d'« albédo » : la glace et la neige réfléchissent l'essentiel de la lumière solaire dont elles renvoient le pouvoir calorifique, alors que la mer libre en absorbe la plus grande part, en sorte qu'un océan Arctique de moins en moins couvert de glace se réchauffe de plus en plus, accélérant la fonte et grignotant lentement mais sûrement la banquise; de son côté la fonte des glaciers terrestres s'accélère (le Groenland a perdu de l'ordre de 100 milliards de tonnes de glace par an, entre 2003 et 2005), avec son incidence ultérieure sur l'élévation progressive du niveau des mers et l'envahissement des littoraux, dès maintenant observés par les satellites et les marégraphes (à l'inverse la fonte de la banquise laisse invariant le niveau de l'eau en mer, simple application du principe d'Archimède). Le niveau des océans se serait ainsi relevé de 10 à 20 cm au cours du XX<sup>e</sup> siècle, et il pourrait s'élever de 20 à 60 cm d'ici la fin du XXI<sup>e</sup> siècle; parallèlement, l'augmentation des températures risque de se poursuivre et atteindre entre 1,8 et 3,4 degrés Celsius<sup>1</sup> selon la quantité de gaz à effet de serre émis par les activités humaines durant cette période. Les précipitations devraient aussi augmenter aux latitudes moyennes (Europe) et élevées (calotte arctique) de l'hémisphère nord.

Le GIEC prévoit que le réchauffement de la planète, dû en partie à l'effet de serre, peut avoir par ailleurs, outre les effets précités (recul du manteau glaciaire et neigeux; montée des océans, etc.), des conséquences météorologiques majeures, la plupart négatives, sur la planète où les pôles jouent un rôle capital dans les échanges atmosphériques et ont un impact sur la circulation thermohaline, ce mouvement des grands courants marins qui parcourent la planète :

- atteinte aux milieux naturels sensibles (mangroves, forêts boréales, écosystèmes polaires et alpins);
- baisse des rendements agricoles dans les zones tropicales et subtropicales où sévira une diminution alarmante des ressources en eau;

1. Chiffres du GIEC (Groupement intergouvernemental sur l'évolution du climat) créé en 1988 par le G7. Organisme actuel de l'ONU, il agrège plus de 3000 chercheurs agréés par plus de 140 États; il vient de publier en 2007 son quatrième rapport mondial, et constitue l'organisme scientifique de haut niveau le plus pertinent pour préparer ce « plan d'action planétaire » contre les effets du réchauffement qu'ont demandé avec insistance le 7 juin 2005 les Académies des sciences des pays du G8. Il vient d'obtenir le Nobel 2007 de la Paix ex æquo avec Algore.

- risques d'inondation accrus par l'augmentation assez générale de la pluviométrie,
- fonte du permafrost (pergélisol) polaire rendant plus difficile l'organisation des transports dans les régions nordiques devenant de manière pérenne tourbeuses et difficiles à traverser;
- mutations environnementales importantes dont peu d'écorégions resteraient indemnes;
- augmentation mécanique du niveau des mers par dilatation et par fonte des calottes polaires, engloutissant les terres basses (les îles coralliennes comme les Maldives) et mettant en péril de nombreuses espèces, etc.

Enfin, et compte tenu de la multinationalité de la périphérie de l'Arctique (les cinq nations riveraines n'y ont aucune frontière clairement définie et quelle est la définition exacte de l'immensité arctique ouverte à tous?) s'ajoute aux handicaps physiques précités le climat politique pénible des **controverses territoriales côtières** autour de la « théorie des secteurs » (océan Arctique partagé géométriquement pour ces cinq nations en cinq secteurs centrés sur le pôle Nord : figure 3) :

- litige entre le Canada et les États-Unis, confirmé par la déclaration du Premier ministre canadien Stephen Harper début août 2007 concernant le statut juridique des eaux sur toute la bordure nordique du Canada (compliqué il est vrai par un archipel multiple), notamment pour les perspectives pétrolières de la mer de Beaufort et de la région comprise entre le Yukon (Canada) et l'Alaska (USA);
- controverse entre la Norvège et la Russie en mer de Barents autour de « la théorie des secteurs » y délimitant la ligne de partage maritime entre les deux pays;
- délimitation du plateau continental entre Norvège et Russie au large des îles du Svalbard (Spitzberg), et entre USA et Canada en Amérique du Nord;
- contentieux de l'île de Jan Mayen, au large du Groenland entre Norvège et Danemark et de l'île de Hans, entre Danemark et Canada, etc.,

tous conflits qui ne sont pas près de se résoudre compte tenu des intérêts en jeu (intérêts des nations et aussi, indépendamment, de quelques grands groupes privés mondiaux) et de la multiplicité, souvent inopérante, des organismes internationaux pourtant susceptibles de favoriser dans la région des solutions de compromis (forums de coopération nordique), notamment :

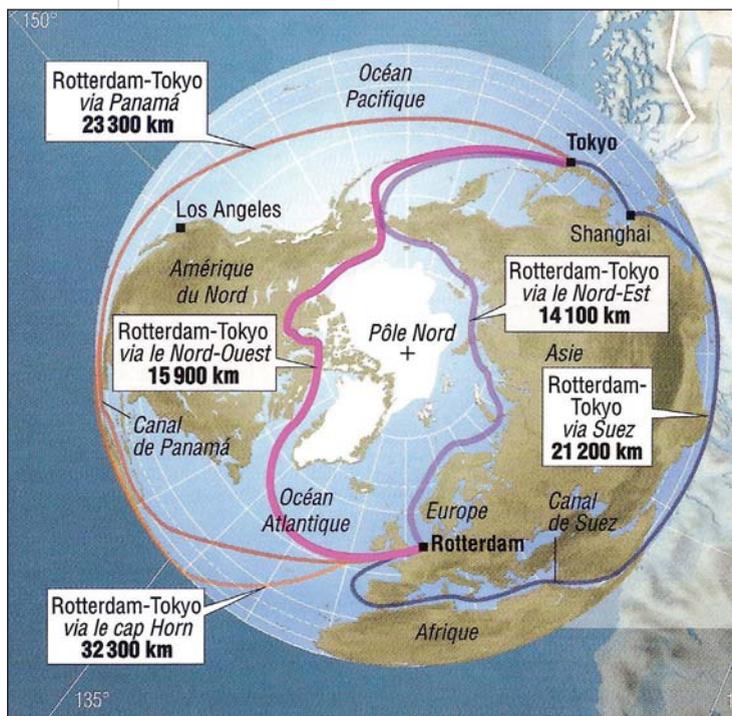
- le Conseil de l'Arctique, créé en 1996, associant huit États arctiques (Islande, Suède et Finlande en plus des cinq nations bordières);
- la Coopération de Barents, datant de janvier 1993 (déclaration de Kirkenes), avec le Conseil euro-

Les grands corridors mondiaux de transport s'intéresseront de plus en plus à l'Arctique

Figure 4

Les grands corridors maritimes est-ouest de l'hémisphère Nord

The major East-West sea corridors of the northern hemisphere



arctique de la mer de Barents associant la Commission européenne aux nations bordières;

- le Conseil des États de la mer Baltique, créé en 1992, et de multiples autres conseils associant initiatives publiques et privées visant des compromis de plus en plus lointains concernant un territoire actuellement sans maître;
- le protocole de Kyoto signé en 1992 lors du Sommet de la Terre à Rio de Janeiro et actuellement ratifié par 189 États (hors l'Australie et les USA, où l'administration Bush l'a rejeté une fois de plus en juillet 2005, mais en reconnaissant que le rejet des gaz à effet de serre devrait faire l'objet d'un auto-contrôle volontaire de la part des industries, ce qui est jouer sur les mots);
- la Convention de Montego Bay du 10 décembre 1982 sur le partage du plateau continental marin, etc.

Finalement, dans tous les paramètres contradictoires de l'Arctique autour de ses trois enjeux stratégiques majeurs (économique avec ses richesses; écologique avec son environnement précieux mais fragile; et militaire avec son rôle dans un conflit nucléaire toujours possible de part et d'autre du pôle), le seul effet majoritairement positif et incontestable du réchauffement climatique risque d'être une facilitation progressive des

transports maritimes polaires : très progressivement on naviguera plus facilement le long de toute la périphérie côtière de l'océan Glacial Arctique (mais ce peut être aussi un facteur de régression de diverses espèces : plancton, réserves halieutiques, etc.); ce qui va vraisemblablement dégager pour le grand avenir de nouveaux corridors de circulation maritimes Est-Ouest entre Atlantique et Pacifique auxquels nous allons maintenant nous intéresser : itinéraires nettement plus courts entre les trois grands ports mondiaux tous trois dans l'hémisphère Nord et quasi-ex aequo (Rotterdam sur le 52<sup>e</sup> parallèle, Shanghai sur le 31<sup>e</sup> parallèle, et New York sur le 41<sup>e</sup> parallèle) que les actuels passages obligés par les détroits de Panama d'une part, de Gibraltar, Suez et Malacca d'autre part.

■ Vers la promotion dans l'Arctique de nouveaux corridors de transport maritimes entre Atlantique et Pacifique

Parmi les très nombreux corridors de transport maritimes qui occupent à ce jour les océans du globe et y assurent la mondialisation de l'économie, les itinéraires Est-Ouest entre Atlantique et Pacifique tiennent actuellement la première place : par le canal de Panama (pour les navires de moins de 70000 t) côté américain, et par le passage de Gibraltar, le canal de Suez (pour les navires de moins de 17 m de tirant d'eau), les détroits de Djibouti et de Malacca côté euro-asiatique, les encombrements y renchérissant les coûts d'acheminement, surtout s'ils obligent les cargaisons les plus importantes à emprunter l'hémisphère sud (long détour par le cap Horn et le cap de Bonne-Espérance) (figure 4).

Il s'agit la plupart du temps de trajets longs (en distance et en temps de parcours, les deux intervenant dans le coût du transport), généralement sûrs en date de livraison (dont le respect intervient, lui aussi, dans le coût et dans les prestations des assurances) et fonctionnant toute l'année durant, avec le concours de nombreux ports hypermodernes, sur le trajet euro-asiatique ou américain, qui assurent une rentabilité complémentaire à ces « routes des détroits ».

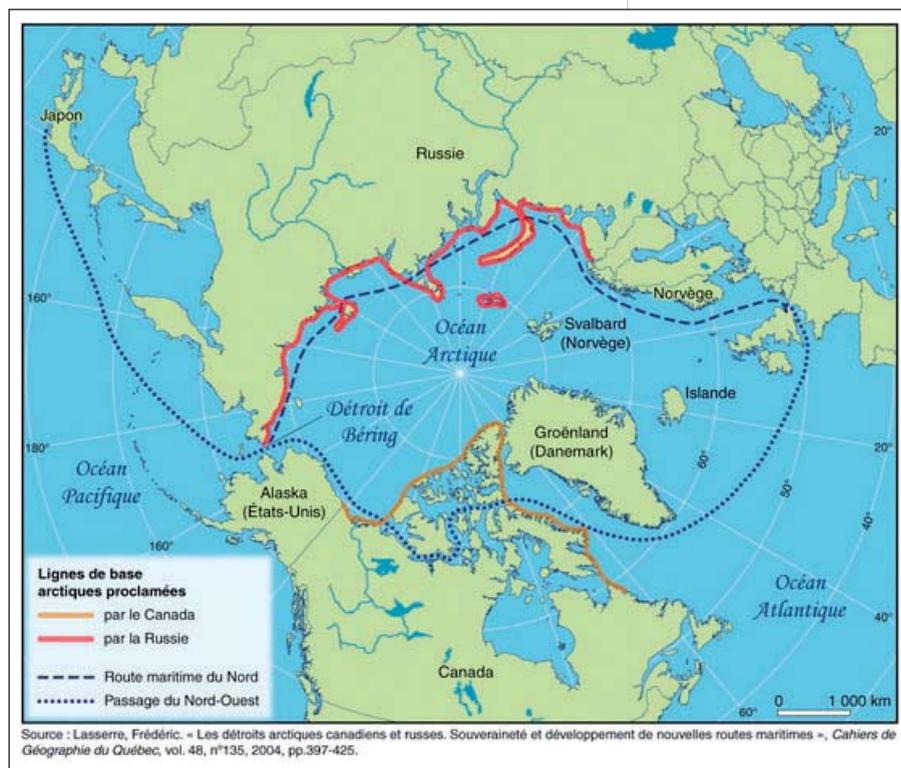
Mais ces routes ont un lien étroit avec l'approvisionnement énergétique de l'Europe, qu'elles rendent très largement tributaire du seul Moyen-Orient alors qu'il est vraisemblable, on l'a vu, que les ressources de l'Arctique deviendront progressivement sa principale porte de secours dans ce domaine avant le début d'épuisement des réserves mondiales en gaz et en hydrocarbures et la généralisation du nucléaire.

Le réchauffement climatique et le recul progressif de la

banquise dans sa périphérie arctique ouvrent à long terme la possibilité de deux itinéraires maritimes entièrement nouveaux entre Atlantique et Pacifique : par l'extrême-Nord du Canada à travers son archipel complexe entre mer du Labrador et mer de Beaufort (« corridor nord-ouest ») d'une part, et plus simplement en longeant les côtes nordiques du continent euro-asiatique entre le cap Nord (Nordkapp) et le détroit de Behring (« corridor nord-est ») d'autre part (figure 4).

Ces deux « routes du Nord » (figure 5) seront praticables, de bout en bout (avec ou sans brise-glace) et toute l'année durant, vraisemblablement avant la fin de la deuxième moitié du XXI<sup>e</sup> siècle avec la persistance du réchauffement de l'Arctique. Elles offriront de nets avantages pour les transports Atlantique-Pacifique, avantages concernant les échanges entre ports de l'anneau des latitudes 30°-50° et le coût global de ces transports :

- trajets très raccourcis (en distance et en temps de parcours) : l'itinéraire Rotterdam - Tokyo, actuellement de 23300 km par Panama et de 21200 km par Suez et Malacca (32300 km par le cap Horn) se réduit à 15700 km par le corridor nord-ouest et à 14100 km par le corridor nord-est, avec une réduction de 15 jours du temps de navigation, mais avec pendant encore plusieurs décennies des risques de manquement aux dates de livraison dont la régularité est commercialement indispensable (et ce tant que la banquise ne s'est pas suffisamment éloignée et, suffisamment longtemps dans l'année, retirée de la bordure des côtes, ainsi que les icebergs rémanents à la dérive);
- utilisation d'unités modernes aux énormes cargaisons, sans aucune limitation de gabarit ou de largeur de chenal (porte-containers de 300000 t et plus de 25 m de tirant d'eau; vraquiers et supertankers à l'unisson) : facteur essentiel de cette baisse des prix de transport qui constituent une composante significative du coût des matières premières dans la hausse continue de leurs cours depuis 2005, et ce malgré le coût de location des brise-glace, les nouvelles technologies des parcs de grandes unités (double coque ou coque renforcée pour pallier les risques rémanents de l'effacement de la banquise, des icebergs dérivant, etc.) et des péages de transit dans le corridor des côtes sibériennes où les Russes auront toujours la priorité géographique absolue et ne se priveront pas de la faire payer;
- confortation de l'indépendance énergétique (pétrole plus gaz) de l'Europe (les ressources de l'Arctique remplaçant si nécessaires celles du Moyen-Orient), et d'une manière générale confortation de l'exploitation des « routes du Nord » par la richesse des gise-



**Figure 5**  
Les routes maritimes arctiques entre Atlantique et Pacifique (F. Lasserre, dans « Cahiers de Géographie du Québec » 2004)

*Arctic sea routes between the Atlantic and the Pacific (F. Lasserre, in "Cahiers de Géographie du Québec", 2004)*

ments énergétiques, miniers, forestiers et halieutiques en réserve dans le Grand-Nord canadien (recherches à peine commencées) et surtout dans les immensités nordiques sibériennes (réserves actuellement connues des chercheurs russes et réserves à découvrir);

- exploitation d'un temps d'avance russe avec les deux seuls grands ports de l'Arctique, Mourmansk et Arkhangelsk (chacun plus d'un demi-million d'habitants), sans équivalents côté canadien, et confortés, au fur et à mesure de leur libération par la banquise, par le développement des mini-ports sibériens actuels à l'est d'Arkhangelsk et à l'ouest du détroit de Behring : mini-ports actuellement activés par des antennes nord-sud fer/route pour l'instant sommaires branchées en dents de peigne sur l'autre grand axe est-ouest de la Russie, le Transsibérien électrifié à deux voies de bout en bout entre Vladivostok et Saint-Pétersbourg. Ces ports dont on ne parle jamais tant le blocage par la banquise les rend pour l'instant quasi impuissants peuvent devenir dans cinquante ans de nouveaux poumons économiques pour le nord du continent euro-asiatique et un atout supplémentaire pour la Russie.

Les grands corridors mondiaux de transport s'intéresseront de plus en plus à l'Arctique



Figure 6

Le corridor nord-est (W. Dunlop, Université de Durham UK)

The North-East corridor (W. Dunlop, Durham University, UK)



**Le « corridor nord-est » (RMN : Route maritime nord; NSR ou Northern Sea Route) (figure 6)**

Comme on l'a vu, cette route maritime du futur relie l'Atlantique au Pacifique en longeant la côte nord de la Russie et de la Sibérie, empruntant le cap Nord, le détroit de Kara entre la Nouvelle-Zemble et le continent, le détroit de Shokalski et la mer des Tchouktsches.

Elle n'est pour l'instant navigable qu'en été (période de juillet à septembre, s'élargissant petit à petit à juin et octobre voire novembre avec le réchauffement climatique), d'autant que les puissants brise-glace nucléaires russes de plus en plus nombreux (avec en complément un projet de 75 navires à étrave et coque renforcée pour 2010, boostant les exportations russes de pétrole et de gaz) s'emploieront à prolonger au maximum la période de navigation en s'appuyant sur la fonte progressive de la banquise amenée à se développer lors des prochaines décennies.

Les Russes estiment que dès que le trafic est-ouest dans l'Arctique aura atteint 3,5 millions de t/an, leur flotte de brise-glace pourra s'autofinancer avec des services taxés à 12 dollars la tonne; et qu'au-delà de 12 millions de tonnes, ce que l'exploitation des gisements énergétiques de l'Arctique permet d'envisager, le niveau de taxation pourrait baisser à 9 dollars la tonne : ceci rendrait le corridor nord-est largement compétitif sous

réserve que le coût de l'autorisation d'emprunt du chenal russe, s'ajoutant à celui de la location du brise-glace, reste dans des limites raisonnables (c'est-à-dire en clair que la Russie n'abuse pas de sa situation géographique).

**Le « corridor nord-ouest » (Northern Passage) (figure 7)**

Ce passage relie les mers de Behring et du Labrador, accessible à l'est par le large détroit de Davis à l'entrée de la mer de Baffin; il se décompose en fait en sept chenaux plus ou moins praticables selon les saisons et le renforcement de la coque des unités, mais en fait et jusqu'à ce jour d'un intérêt encore limité étant donné les difficultés de navigation (passage de bout en bout limité à quelques semaines d'août et de septembre et emprunté avec la plus grande prudence), et la présence d'un seul port temporaire (Churchill); mais avec les projets de construction ex nihilo du port en eaux profondes de Nanisivik et d'une installation militaire dans le Grand-Nord annoncés par le Premier ministre canadien début août 2007, le Canada commence à s'intéresser à son avenir Arctique pour de bon, il était temps, notamment pour y devancer avec suffisamment d'atouts l'interventionnisme économique (gisements off shore) et militaire (sous-marins à missiles nucléaires sous la calotte glaciaire?) des États-Unis dans la région (incidents de fin 2005 entre les deux pays).

**■ L'importance stratégique de l'évolution de l'Arctique et de la promotion du passage du Nord-Est**

Il faut redire que l'Arctique détient trois enjeux majeurs : économique, environnemental et militaire; et il constituera de plus en plus une zone de conflits territoriaux dont les cinq nations périphériques chercheront coûte que coûte à s'assurer les bénéfices. Il y a toute vraisemblance pour que le « corridor nord-est » prenne dans l'ensemble définitivement corps avant le « corridor nord-ouest », avec une Russie première gagnante de l'Arctique sur le double plan de la valorisation de ses immenses ressources connues ou inconnues, affichées ou cachées, et de l'efficacité de leur acheminement mondial vers l'Amérique du Nord, l'Europe du Nord, la Chine et le Japon principalement, favorisées par un recul de la banquise plus franc et un peu plus rapide au large de la Sibérie qu'au nord du continent canadien.

**Ce succès géopolitique russe, fut-il temporaire (les 20 à 30 prochaines années) :**

- nécessite la complicité passive de la Norvège (non-

membre de l'UE) et, dans une moindre mesure, de la Suède et de la Finlande où l'utilisation de la Baltique et des sites continentaux est indispensable pour organiser les réseaux de pipes énergétiques desservant (à partir de l'extrême-Nord russe jusqu'à l'Oural) l'Europe du Nord et de l'Est jusqu'à la Méditerranée (conjointement aux ressources méridionales de la Caspienne); ceci confirmant la conquête énergétique par la Russie de plus de la moitié de l'UE;

- explique la frénésie actuelle de recherches et d'investissements des plus grands groupes industriels de la planète dans le Grand-Nord sibérien (où ils quémandent les autorisations russes), ainsi que dans le Nord canadien (où elle est plus timide), dans l'attente anticipée de la libération plus ou moins rapide, plus ou moins totale, des corridors nord-est puis nord-ouest : les Russes, a-t-on écrit, voient cette ouverture avec des dollars pleins les yeux. Or curieusement, la documentation et les publications scientifiques actuelles sur le réchauffement climatique de l'Arctique et le retrait très progressif de la banquise semblent porter davantage sur le corridor nord-ouest américain (analyses remarquables du département de géographie de l'Université Laval à Québec ou de la revue française GEO sur l'Arctique et l'Antarctique) que sur le corridor nord-est sibérien; tout en reconnaissant qu'à terme l'ouverture de bout en bout, avec ou sans brise-glace, durant l'été élargi ou, beaucoup plus tard, toute l'année durant, d'un corridor Atlantique nord - Pacifique nord par l'Arctique est sûrement moins lointain dans le temps (probablement milieu du XXI<sup>e</sup> siècle) pour le second que pour le premier. Hésitation de la géopolitique américaine à reconnaître un avantage non politique mais incontestable que la seule géographie du globe concède à la Russie, évinçant, dans ce secteur du moins, les USA de leur habituelle suprématie civile (militaire, c'est autre chose) âprement défendue partout dans le monde ?

Mais l'essor des liaisons côtières sibériennes a aussi une tout autre importance, touchant la pérennité au XXI<sup>e</sup> siècle de l'unité continentale russe (s'ajoutant à l'atout fondamental de continuité est-ouest bâti autour de l'exploitation de bout en bout du Transsibérien), c'est-à-dire assurant le maintien territorial dans l'orbite politique du pays de la Sibérie orientale et également de l'Extrême-Orient russe (le long portail des 7000 km de côtes russes sur le Pacifique entre le détroit de Behring, la presqu'île du Kamtchatka, la mer d'Okhotsk et Vladivostok sur le 43<sup>e</sup> parallèle). Car ces régions, à 8000 km de Moscou, pourraient au cours du XXI<sup>e</sup> siècle **développer une explosion séparative**, concrétisant une menace de séparation (latente depuis



**Figure 7**  
Le corridor nord-ouest  
(F. Lasserre dans « *Revue internationale et stratégique* », 2001)  
The North-West corridor  
(F. Lasserre in "*Revue internationale et stratégique*", 2001)

l'éclatement de 1989-1991 de l'Union soviétique) entre les deux moitiés occidentale (jusqu'à l'Oural) et orientale (de l'Oural jusqu'au Pacifique) de la Fédération de Russie (qui connaîtra par ailleurs d'autres soucis, puisque les ethnologues lui prédisent pour 2050 une baisse de sa population globale, qui sera alors 15 fois inférieure à celle de la Chine...). L'efficacité des liaisons de transport est-ouest, que ce soit par le corridor nord-est ou par le Transsibérien, est donc dès maintenant un impératif absolu de la politique intérieure du Kremlin. Sinon perdurerait le risque, alors que le globe s'appête à connaître la montée systématique des populations et des économies de la Chine, de l'Inde et du Brésil, d'une **partition territoriale du continent russe actuel** qui, additionnée au déclin économique possible, avant le milieu du siècle, de l'Amérique du Nord et de l'UE, bouleverserait le monde en lui imposant un visage totalement différent. Cette crainte explique sans doute le virage à l'est de la politique étrangère russe (auquel, encore une fois, se rattachent les espoirs fondés sur le corridor nord-est), s'additionnant au rapprochement énergétique avec l'Europe progressivement tributaire des hydrocarbures et du gaz de l'Arctique.

Les grands corridors mondiaux de transport s'intéresseront de plus en plus à l'Arctique



Quoi qu'il en soit, si la souveraineté du Canada sur les eaux du corridor nord-ouest et dans la complication des chenaux de navigation futurs de son archipel arctique aura de plus en plus de mal à s'imposer face aux revendications de plus en plus agressives des USA sur ce site, la souveraineté de la Russie sur le corridor nord-est semble, au moins pour un temps, difficilement contestable entre la presqu'île de Kola et le Pacifique; et ceci sauf conflit mondial, toujours possible durant la première moitié du XXI<sup>e</sup> siècle dans l'Arctique (guerre éventuelle des sous-marins nucléaires sous la calotte glaciaire, dont les missiles, qui peuvent actuellement percer les champs de glace de moins de 80 cm d'épaisseur, menaceraient directement l'Amérique du Nord et l'Europe du Nord?).

Car l'intérêt stratégique de l'Arctique est de nos jours autant militaire (ni plus ni moins que durant la guerre froide) qu'économique (bataille diplomatique pour l'énergie et les ressources minières; mondialisation des transports dans l'océan Glacial Arctique), appuyé sur l'utilisation de l'avion, du brise-glace et du sous-marin sous la banquise; avec une surveillance quotidienne sur trois dimensions, indispensable entre autres à la sécurité de la Russie sur l'immense longueur de ses côtes sibériennes, du Groenland, du Canada et de l'Alaska côté américain, et avec la présence actuelle probable (secret défense) dans ces régions arctiques d'implantations militaires et de réseaux de sonars et radars de défense antimissiles toujours (mais plus discrètement) sur pied de guerre (même trente ans après la guerre froide, lorsque les États-Unis avaient compris l'intérêt de la traversée de l'Arctique par ses bombardiers B52 puis par ses missiles, en direction de l'Union soviétique).

Les États-Unis souhaitent actuellement que le Canada participe à nouveau au commandement de l'historique NORAD (North American Defense) créé dans les années 60 pour défendre l'espace aérien de l'Amérique du Nord avec une double mission, maintenant très élaborée technologiquement, d'alerte et de contrôle sur l'Alaska, le Canada et les USA; à leur demande, le Danemark vient d'accueillir un radar sur sa base aérienne de Thulé au Groenland et la Norvège sur sa base nordique de Vardö près de Kirkenes, à quelques kilomètres de la frontière russe.

La présence de sous-marins américains et russes est en tout cas actuellement plus que probable dans tout l'océan Arctique, non plus dans le cadre d'une guerre sous-marine déclarée entre les deux superpuissances mais dans celui d'une stratégie de « dissuasion tous azimuts ». Il s'agit de sous-marins nucléaires, apothéose de la technologie militaire polaire avec des barres de plongée avant rétractables, un kiosque renforcé pour pouvoir faire surface sous la glace, et des lance-missiles

susceptibles de traverser une faible épaisseur de glace et de faire peser une menace de représailles nucléaires sur toutes les grandes agglomérations de l'hémisphère nord.

Comme constaté pendant la guerre russo-japonaise de 1904-1905, le passage boréal est pour la Russie doublement stratégique, surtout maintenant qu'elle n'est plus dotée que de quatre grands ports commerciaux en eaux profondes : Saint-Pétersbourg (qui ne possède pas la clé des détroits danois d'accès de la Baltique à l'océan libre), Mourmansk, Arkhangelsk et Vladivostok, avec en outre ses deux grands ports militaires, reliés précisément aux deux extrémités de la Sibérie par le corridor nord-est :

- Mourmansk, côté Atlantique, énorme base navale et aérienne, site concentrant radars à très grande portée et base de sous-marins nucléaires en même temps que grand port céréalier et pétrolier, pouvant prochainement accueillir les supertankers de 300000 t qui exporteront le brut sibérien vers les États-Unis (soit 9300 km au lieu des 21000 km les séparant du golfe Persique);
- Petropavlovsk, côté Pacifique, base de la presqu'île du Kamtchatka directement ouverte sur le Pacifique nord, qui abrite actuellement un centre important de sous-marins nucléaires faisant face à l'Amérique du Nord. On retrouve là la politique de mainmise géographique de la Russie sur le Pacifique nord au sud du détroit de Behring, avec la pleine propriété de la mer d'Okhotsk qui se referme sur le Kamtchatka en face de l'Alaska et du nord-ouest du Canada.

Il se confirme ainsi que les principaux centres militaires industriels et tertiaires indispensables à la sécurité russe, y compris les arsenaux et les grandes bases, sont placés aux deux extrémités, occidentale et orientale, de la Sibérie et y soulignent pour l'avenir la nécessité stratégique du lien maritime est-ouest que constituera très progressivement le corridor nord-est.

La protection de l'environnement, dans ce tohu-bohu des bouleversements économiques et militaires à prévoir dans l'océan Glacial Arctique, a-t-elle des chances de s'y faire entendre ?

Les exploitations énergétiques et minières et les nouveaux transports maritimes, poussés à l'extrême par les impératifs de rentabilité industrielle et commerciale, vont à coup sûr perturber le milieu naturel pratiquement vierge actuellement sur et sous la banquise (les pollutions énormes de la partie russe libre de glace en mer de Barents, déchets nucléaires, vieux sous-marins soviétiques abandonnés sur les hauts fonds côtiers entre Mourmansk et la Nouvelle Zemble, etc. constituent déjà un sinistre présage); et tout l'équilibre de l'écosystème nordique court le risque de l'échouage de

déchets pétroliers après le naufrage éventuel d'un supertanker.

Quel État, quels accords internationaux mettront-ils, au-delà des querelles intersectorielles qui ne feront que s'amplifier lors des prochaines décennies, l'Arctique à l'abri de toute catastrophe écologique (réglementations très strictes en matière d'assistance et de caractéristiques des brise-glace, d'amélioration des cartes, notamment sous-marines, en secteur russe, de prévision d'icebergs à la dérive, de stockage et de manipulation des déchets nucléaires notamment de la presqu'île de Kola, etc.) ?

## ■ Conclusions

Les eaux de l'océan Glacial Arctique couronné par la banquise, impraticables de mémoire d'homme, vont devenir, à la suite du réchauffement climatique et suivant son ampleur et son développement, encore difficiles à préciser actuellement, exploitables dans le triple secteur des transports intercontinentaux est-ouest raccourcis, des ressources énergétiques et des ressources minières incontestables : triple ensemble d'activités auxquelles il ne faut pas oublier d'ajouter celles des grandes entreprises de construction, de travaux publics et d'ouvrages d'art spécialisées dans les infrastructures et les superstructures de transport (et cela intéresse la France) : nouveaux ports, nouvelles voies ferrées, nouveaux chantiers de construction navale et d'arsenaux etc., où fleuriront les nouvelles technologies du XXI<sup>e</sup> siècle.

Toutes activités progressivement croissantes et ceci pour la plus grande satisfaction de l'Amérique du Nord, de l'Union européenne, de la Russie et de la Chine, tous ensembles mondiaux qui se seront sans doute entre-temps repartagés le leadership économique et militaire de la planète. Car l'océan Arctique ne sera pas pour tous à la fin du XXI<sup>e</sup> siècle comme on l'a parfois écrit naïvement (les deux seuls grands ports de l'Arctique se situent, il faut le dire encore une fois, en Russie : Mourmansk et Arkhangelsk).

Même si l'Arctique se sera ouvert par la traversée de sa périphérie bordière et la pratique commerciale généralisée d'un corridor maritime au nord du continent euro-asiatique puis sans doute d'un autre corridor nord-américain, les conditions d'attribution de ses richesses risquent de dépasser le simple cadre diplomatique des querelles de souveraineté territoriale et de frôler le spectre d'une tragédie écologique, voire d'une troisième guerre mondiale, avant d'espérer une réflexion puis des accords internationaux sans la hantise d'un conflit armé généralisé, ce qui est loin d'être le cas actuellement.

Accords qui dépasseront le cercle des seuls pays rive-

rains de l'Arctique puisque la France par exemple ne manquera pas de s'y intéresser au sein de l'Union européenne, la sécurité de la région et de ses approvisionnements énergétiques la concernant au premier chef (comme l'avait dès 2004 prédit M<sup>me</sup> Alliot-Marie au nom du gouvernement français dans son discours d'Helsinki « La dimension nordique de la PESD<sup>2</sup> ») accords qui y assureront enfin, il faut l'espérer, la neutralité de la géopolitique des transports mondiaux et de ses principaux corridors dans l'hémisphère nord. ■

## Bibliographie (et cartographie incluse)

- Rapport n° 30 du Storting norvégien : « Opportunities and challenges in the North », ministère norvégien des Affaires étrangères, Oslo 2005.
- Tomberg : « La Sibérie orientale et l'Extrême-Orient sont l'avenir de la Russie » (Russian News and Information agency Novosti, 24 janvier 2006, et 3w.rian-ru).
- Seline/Astomine : « Problèmes et perspectives de développement de la route maritime du Nord », revue *Morskoi Sbornik*, mars 2005.
- J.-Cl. Besida : « Géopolitique de l'Arctique », mémoire de maîtrise (Centre de documentation du CESM).
- Krauss Clifford : « A gold rush at the top of the world », *New York Times*, 15 octobre 2005.
- Frédéric Lasserre, professeur au département de géographie à l'Université Laval de Québec :
  - > « Le passage du Nord-Ouest : future route maritime ? », *Relations internationales et stratégiques* n° 42, Paris 2001 ;
  - > « Fonte des glaces arctiques dans le passage du Nord-Ouest : quel avenir pour la souveraineté canadienne ? », *Policy option* 2004 ;
  - > « La souveraineté canadienne dans l'Arctique : la glace est mince », 2006 ;
  - > « Le passage du Nord-Ouest n'est pas une future autoroute maritime », *Le Devoir*, 22 janvier 2007.
- Granier : « Ozone pollution from the future ship traffic in the Arctic northern passages », *Geographical research letters* (2006).

### Sites internet :

- Association européenne de libre-échange : [www.efta.int](http://www.efta.int) (« La mer de Barents vers un nouveau grand jeu »).
- Conseil Arctique : [www.arctic-council.usgs.gov](http://www.arctic-council.usgs.gov)

2. PESD : Politique Européenne de Sécurité et de Défense.

- Conseil des États de la mer Baltique : [www.cbss.st](http://www.cbss.st)
- Conseil euro-arctique de Barents : [www.barents.no](http://www.barents.no)
- Dimension septentrionale du Canada : [www.canada.gc.ca](http://www.canada.gc.ca)
- [www.cdi.org/russia/johnson/7238-18.cfm](http://www.cdi.org/russia/johnson/7238-18.cfm)
- Quatrième rapport (2007) du GIEC : [www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf](http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf)
- L'impact du développement chinois sur le réchauffement planétaire : [www.cerium.ca/article1559.html](http://www.cerium.ca/article1559.html)

**ABSTRACT**

***The main world transport corridors will take more and more interest in Arctic Ocean***

J.-A. Winghart

*It is important to repeat, within the framework of the International Polar Year (IPY) 2007-2008 that the Arctic Ocean and its american and euro-asiatic coastlines will especially suffer from climate warming; the ice-field retreat will allow before the end of this century the full release, all year long, of new coastal east-west channels, along russian and siberian coasts in a first time, along american ones in a second time.*

*These new nordic shipping routes will drastically change the world organization of goods conveyance, with the support of the two great harbours, the only ones at the present time, in the Arctic of Murmansk and Arkhangelsk; it will give Russia an indisputable advantage, but will lead for several decades to harsh conflicts of trading and military domination.*

**RESUMEN ESPAÑOL**

***Los grandes pasillos mundiales de transporte se acercarán cada vez más al Ártico***

J.-A. Winghart

*Puede ser útil acordarse, con motivo del año Polar internacional 2007-2008, que el Océano Glacial Ártico y sus periferias americana y euro-asiática estarán particularmente atañidas por el calentamiento climático; antes de finales del siglo, la desaparición de la banquisa permitirá liberar completamente, y durante todo el año, nuevos canales este-oeste de navegación costera para grandes unidades, en primero por el lado ruso-siberiano y luego por el lado americano.*

*Estos nuevos itinerarios marítimos nórdicos trastornarán la organización mundial de los transportes de masa en que predominarán en el Ártico los dos grandes puertos marítimos actuales de Mourmansk y Arkhangelsk y; permitirán a Rusia detener una basa certera, pero generará para muchos años en el futuro, conflictos de influencia comercial y militar.*