

nantes-citoyennete.com

Le Conseil de développement de Nantes Métropole

Saisine Plan de déplacements urbains

3 novembre 2009

Contribution d'Yves LAÎNÉ

Un franchissement de la Loire par tunnel

entre Trentemoult et Chantenay

Pourquoi, comment, prospective, besoins, service, esprit de la ville

Un franchissement de la Loire par tunnel

entre Trentemoult et Chantenay.

Pourquoi, comment, prospective, besoins, service, esprit de la ville.

Yves Lainé

Rappels

Parmi les franchissements de la Loire cités dans le PDU 2001-2010, deux concernent l'amont de Nantes, deux son aval. Les premiers ouvrages (ceux d'amont) sont en cours de réalisation.

Quant aux autres questionnements, soit entre la partie aval de l'île de Nantes (Prairie au Duc) et le quai Ernest Renaud d'une part, entre Rezé et Nantes-Chantenay d'autre part, si l'on excepte les navettes fluviales, aucun progrès notable – à l'exception de quelques études, n'a été enregistré, même si des décisions ont été prises pour optimiser la fluidité du périphérique (annexe 2).

La présente réflexion ne concerne pas les relations entre l'île de Nantes et la rive nord (Quai E.Renaud) qui feront l'objet d'une contribution séparée. Ce qui est justifié par l'avis, dont extraits cités plus bas, où le Conseil de développement avait jugé « *surprenant que cette hypothèse n'ait pas été retenue* et qu'on devait reconnaître la *nécessité de joindre le futur centre (île de Nantes) à la ville actuelle.*

Nous nous concentrerons ici sur la problématique Trentemoult-Chantenay dont le double objet serait de :

- dégager des flux croissants encombrant indument le pont de Cheviré dont le trafic atteint 100 000 véhicules/jour. (plus de 3000/h/sens)
- assurer plus correctement le passage des flux internes à l'aire urbaine (inter quartiers) grâce à un outil adapté.

Voici les termes de l'Avis du Conseil de développement rendu en septembre 2004 (para2)

Sur le franchissement aval :

*Les contraintes, à la fois techniques et surtout financières, conduisent à proposer **que soit différé le projet de franchissement dans ce secteur.** Les contraintes liées à l'activité portuaire obligerait à la réalisation d'un **ouvrage techniquement coûteux et difficile à mettre en œuvre.** La solution "tunnel" présente l'inconvénient du coût très élevé, de la faible prise en compte de l'aspect transports collectifs et de l'inconciliabilité avec les "modes doux".*

*- **une étude doit être rapidement engagée** pour examiner la faisabilité d'une solution "navette fluviale" ou "bac" pour la traversée du fleuve entre **Nantes et Rezé.** Cette étude devra intégrer aussi la **dimension "transports collectifs"**. Ce service fluvial améliorerait les liens entre Nantes et Rezé, notamment pour les piétons et pourrait être complété par un service de bus mettant en communication les lignes 1 et 2 du tram. Cette multi modalité correspond aux objectifs du plan de déplacements. La Loire n'est pas le seul fleuve au monde qu'il faille traverser dans des conditions contraignantes.*

Des expériences sur d'autres lieux similaires mériteraient d'être examinées.

Ceci avait été écrit après qu'une étude eut été confiée au cabinet Arcadis. Celle-ci, qui avait examiné l'opportunité d'un pont classique, d'un pont levant et d'un tunnel immergé, avait permis, selon les échos reçus, de conclure provisoirement :

- Qu'un pont classique « bas » (coût : 35-40 M €) était inconcevable du fait de la nécessité de conserver une zone d'évitage pour les navires devant Trentemoult.
- Qu'un pont « haut » du type Cheviré, assez cher (env 125 M €) se trouverait confronté à un problème d'emprise des accès incompatible avec l'urbanisation de la rive nord, notamment..
- Qu'un pont levant de 200 m, d'un coût comparable entraînerait une désorganisation des flux terrestres pendant le passage des navires, soit environ 1 heure et demie chaque jour, décalé tous les jours du fait des marées) – En outre l'exemple du pont de Rouen livré depuis (155M €) paraît dissuasif.
- Qu'un tunnel immergé était réalisable, mais à un coût paraissant exorbitant : la somme de 250 M €. fut évoquée.

Tout ceci explique qu'il y a cinq ans, il avait été décidé de ne rien faire et, comme aucune navette fluviale à cet endroit n'a depuis vu le jour depuis, le problème reste entier. – La navette pour piétons reliant le Quai Ernest Renaud à Trentemoult, même si elle a rendu des services incontestables, n'a ni résolu les encombrements de Cheviré, ni permis à des flux roulants, publics ou privés, émanant surtout de l'intérieur du périphérique, d'être redressés au profit d'un itinéraire plus logique.

Toutefois, l'État, le Conseil Régional des Pays de la Loire, le Conseil Général de Loire-Atlantique et Nantes Métropole, conscients de la situation dans le périphérique, sont convenus de consacrer plus de 30 M€ à un programme d'aménagement du périphérique pour la période 2009-2014 (voir annexe 2)

Veille du deuxième PDU du XXIème siècle, état d'esprit de la Ville.

Pour autant, en ce moment, nous en sommes à examiner le PDU 2011-2020 et diverses nouvelles contributions ont déjà été produites en faveur d'une solution pérenne. Si nos réflexions devaient ne pas évoluer, **un bac pourrait-il résoudre une partie du problème** dans un délai relativement rapide ? Nous serons peut-être amenés par la nécessité à adopter une telle solution de soudure : Elle ne pourrait être que partielle, onéreuse, et provisoire. Certains auteurs de contributions ont évoqué des bacs de grande capacité : c'est oublier que les durées de chargement/déchargement peuvent freiner le cadencement au détriment de la fluidité.

En plus, une autre prise de conscience s'est faite depuis quelques années. Les Nantais eux-mêmes montrent de plus en plus ostensiblement leur attachement à ce qui pourrait être un nouvel âge maritime pour le port de Nantes. Ils savent bien que le passé ne saurait être revécu. Cependant, à la suite de différents événements, on a pu constater qu'en nombres croissants, ils sont désormais **sensibles à une redéfinition de la vie fluviale et portuaire** qui reste à affiner et qui passera plus par le tourisme, le nautisme ou même la construction navale. Pour s'en persuader, il suffit de constater l'engouement autour de manifestations telles que le lancement du « St Michel II », réplique du voilier de Jules Verne, du départ de la course « Solidaire du chocolat », trois-mâts Belem en tête, les régates de Trentemoult, le Maillé-Brezé ou des projets liés au patrimoine de la Ville, comme le nouveau Pont à transbordeur... Une enquête réalisée cette année et portant sur 543 interviews conclut qu'**il reste chez le Nantais, une profonde attente de vie maritime**.(1) or toutes ces activités ont une exigence en commun : le tirant d'air.

Nouvelle raison pour ne pas bloquer l'accès maritime de notre « espace-source », et puisqu'aucun type de pont ne semblait offrir une solution satisfaisante, j'ai choisi d'examiner la solution tunnel qui nous a semblé insuffisamment creusée et surtout pas reliée aux besoins réels ou à venir. J'essaierai d'abord de définir un peu mieux le problème en posant au préalable quelques questions très générales :

A. Quelques questions de logistique qui introduisent la recherche:

Que savons-nous des origines /destinations des véhicules légers entre zones définies ci-après ?

Que savons-nous du « mix roulant » sur Cheviré ?

Que savons-nous du trafic de Cheviré, heure par heure dans chaque sens ? Des origines/destinations ?

Que savons-nous des besoins de livraisons en véhicules de services ?

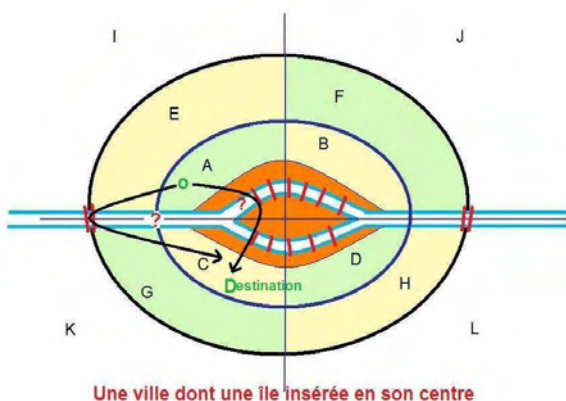
A-t-on modélisé des solutions « tunnel » transposables à notre cas ?

Enfin, et surtout :

Le tunnel imaginé en 2003 par les autorités de Nantes-Métropole dans le cahier des charges transmis à Arcadis correspond-il toujours – compte tenu des évolutions connues - aux besoins que nous pouvons maintenant imaginer à l'horizon 2020, voire plus loin compte tenue de la nouvelle donne sociétale ?

Sur ce sujet global, il serait peut-être opportun qu'un dialogue technique s'instaure entre une cellule *ad hoc* du Conseil de développement et les services compétents de Nantes métropole .

A1 Les origines destinations, définition d'un modèle théorique..



à un report sur un franchissement intermédiaire ; on peut déjà tenir pour évident qu'une majorité (quel % ?) utilisera le franchissement indiqué sous le (?)

La zone urbaine dense est indiquée en orange. Elle est soumise à des contraintes particulières (parkings payants, stationnements, etc.) et bénéficie d'avantages spécifiques (réseau public dense) – On supposera que à l'intérieur de cette zone orange les déplacements Nord-Sud et inverses, pour autant qu'ils sont faits en voiture particulière, se réalisent tous via l'un des ponts existant mais que des moyens de dissuasion seront offerts.

Chaque autre déplacement quotidien de et vers les autres zones (A à H) peut en revanche avoir pour origine une des onze autres secteurs et ne pas forcément se retrouver sur le périphérique. Exemple : l'ensemble des déplacements de A vers C : ils ne devraient jamais avoir avantage à utiliser les ponts centraux ni même Cheviré. Exemple « très favorable »

Les services d'études compétents doivent disposer des logiciels adaptés pour déterminer la pertinence d'un nouveau franchissement. Ces moyens devraient pouvoir être déclinés par typologie de déplacements : domicile/travail, plus ou moins réguliers, etc... et également par type de véhicule vl, camionnettes de livraison, etc... Une telle approche permet aussi d'appliquer au besoin des mesures incitatives ou contraignantes de façon à organiser les flux de véhicules ainsi que leur stationnement. Sans ce type d'outil il est difficile d'espérer réorienter les trafics. Bien sûr il s'appuie aussi sur un questionnement par enquêtes, mais celui-ci n'est pas très lourd à administrer.

A2 - La prospective des « mix » et des flux qui dépend des comportements.

Quand on construit un franchissement, on le fait pour plus d'un siècle.... Mais souvent on accepte facilement de prendre pour base des habitudes actuelles ou faiblement projetées dans l'avenir. Le conseil de développement, suite aux contributions faites plus tôt, notamment par MM Lefevre, Bourgeau ou Favre, et plus récemment les mêmes et Yves Robin, C Davias, ... s'est penché sur ces questions. Les contributions ont eu notamment raison de distinguer des **besoins immédiats ou non réfléchis** mais rarement des **besoins projetés dans l'avenir**. Il est vrai qu'il y a 5 ans, on parlait beaucoup moins de crise du pétrole et d'effet de serre.

Ce qu'on peut aujourd'hui tenir pour certain ou souhaitable :

a/ Les franchissements nouveaux sont d'abord destinés à faciliter les relations inter-quartiers.

b/ Les évolutions imposent une plus grande pénétration de transports publics de masse (trams, busways..) mais on aurait tort de négliger des transferts de moyens au profit de formes plus légères : vélos, petits véhicules urbains « durables ». Ainsi la prospective 2010-2040 n'a rien à voir avec celle qu'on pouvait faire entre 1970 et 2000. La fin du pétrole, l'effet de serre, donc la chasse aux pollueurs vont bien plus profondément modifier le mix et surement orienter le citadin vers la possession (ou la location) de deux types de véhicules : l'urbain léger non polluant, à encombrement réduit, à deux, trois ou quatre roues et l'engin grand-routier hybride, électrique ou à hydrogène qui n'aura pas sa place dans les centres.



Exemple : À la croisée des chemins entre une auto et une moto, le Land Glider, Concept électrique de NISSAN, se distingue en premier lieu par ses proportions hors du commun. Il mesure, en effet, 3,10 m de long pour seulement 1,10 m de large. Une particularité qui restreint le nombre d'occupants à deux, alignés. La production de masse est envisagée.

c/ Les poids lourds ne pourront traverser les villes sans dérogation.

d/ La voie fluviale sera utilisée à chaque fois qu'elle pourra se substituer à la voirie urbaine, par exemple pour la construction. A l'exemple de Chicago, où la plupart des matériaux destinés à la construction des immeubles riverains sont acheminés par le lac Michigan ou la Chicago river, ainsi que les déblais... (Autre ex de tirant d'air utile : les grues flottantes).

A3 : Les nouveaux comportements : des variables

a/ La première variable est simplement le **besoin de se déplacer** plus ou moins, selon que les règles d'urbanisme auront placé les nouveaux lieux de travail, de loisirs, etc...le schéma d'urbanisme.

b/ Une deuxième variable est la généralisation des **communications immatérielles**, comme le téléphone/visiophone portable qui pourraient limiter les raisons de se voir physiquement, mais l'effet contraire existe..

c/ Troisième variable : le nombre de places de **stationnement, de parkings** publics et dans les immeubles. Il y a comme une contradiction d'imposer des normes qui ont pour effet d'augmenter le « parc en ville » tout en réduisant la possibilité de circuler. Est-on capable, dans un périmètre donné, de situer le nombre de places dans la rue, plus celles dans des parkings publics et celles dans des garages privés et de suivre l'évolution de ce parc ?

d/ Cependant, une erreur souvent commise est celle qui consiste à dire que toute infrastructure nouvelle est génératrice de flux supplémentaires. S'il n'y a pas augmentation de la masse totale de véhicules, du nombre de déplacements nécessaires (comportements), désaffectation d'un transport public insuffisant au profit d'un itinéraire plus roulant, il n'y a pas de raison que les flux saisis sur un nouvel itinéraire ne se retrouvent en moins sur un autre.

B La prospective qui définit l'outil

B1 Quels flux cherche-t-on à dévier ici ?

Il a été écrit qu'à certaines heures 90% des flux passant par le pont de Cheviré seraient des véhicules individuels de la zone urbaine qui n'ont pas forcément vocation à passer par là (Interview JM Ayraut le Point mars 08). Problème classique. Ce sont pourtant ceux-là qu'il convient d'identifier et de tenter de relocaliser. Quelle sont-ils des véhicules partis de l'intérieur du périphérique se rendant au sud de la Loire à l'intérieur du périphérique ou très près de celui-ci ?

Le corollaire immédiat : en cas de franchissement nouveau, ne va-t-on pas transmettre la congestion à des axes déjà très utilisés comme le Bd de la Liberté à Chantenay, par exemple ? Ce sont bien sûr des données à modéliser, particulièrement du côté Nord.

En conclusion sur ces questions générales, aucune décision sur un nouvel équipement ne devrait se prendre sans qu'on dispose de l'instrument scientifique et que celui-ci soit **inscrit dans une philosophie de ville orientée sur le long terme**. Le discours de Nantes Métropole n'est pas dénué de cet apport – Pour autant sa vulgarisation, notamment synthétique, semble insuffisante au Conseil.

B2. Essais de définition de l'ouvrage.

a/ **L'étude Arcadis**. Si nous sommes persuadés que l'ouvrage ne peut qu'être un tunnel, il apparaît également que l'étude qui avait été commandée à Arcadis concluait à une estimation qui fut jugée « exorbitante ». Quel était donc l'ouvrage proposé dont les spécifications ont forcément été fournies par la Communauté Urbaine ?

Il s'agissait, ai-je compris, d'un tunnel immergé fait de caissons posés en tranchée, de 32 mètres de large et de 8 mètres de hauteur, cotes probablement extérieures, capable d'accepter tant des transports en commun (dont tramways ?) que des poids lourds ou des véhicules légers, donc de grande hauteur. Bien que la Loire ne soit à cet endroit large que de 200 mètres, une longueur totale de 1 km avait paru nécessaire pour tenir compte d'une pente moyenne imposée de 5%. Les deux chaussées de 8m55 étaient complétées de couloirs latéraux de sécurité et de ventilation. La nouvelle réglementation, consécutive à l'accident du tunnel du Mont Blanc, confirmée par la circulaire ministérielle N° 2006-20 du 29/3/2006 impose en effet à tout tunnel de dimension supérieure à 300 m des normes nouvelles dont la conséquence est d'augmenter le coût de construction d'environ 30%. Ce surcoût avait été intégré dans le projet. Les nouvelles conditions de sécurité sont notamment décrites dans le document du CETU dont le lien est joint en annexe 4

D'autre part, après examen des conditions géologiques, il n'apparaissait pas que celles-ci pourraient être de nature à réserver des surprises menant à un tel coût. Finalement, bien que ne disposant d'autres données, le prix (Coût de construction 150 M HT et coût d'opération 250 M) peut surprendre. Ces informations peuvent suffire à nous interroger sur la pertinence de l'ouvrage.

b/ Un prix exorbitant ?

Bien que connaissant les limites d'un tel exercice, nous avons jugé utile d'effectuer des comparaisons avec d'autres réalisations de tunnels immergés en Europe surtout.

Grâce aux sites Structurae (<http://fr.structurae.de>) et à celui du centre d'Etude des Tunnels (CETU www.cetu.equipement.gouv.fr) nous avons donc réuni un certain nombre d'exemples récents et intéressants, à savoir les sept suivants:

- Le tunnel de l'Ems, en RFA d'une longueur immergée (Li) de 945m, 1990
- Le tunnel du port de Sydney Li de 960m, 1992
- Le tunnel Jack Lynch, en Irlande, Li 610 m, 1999
- Le tunnel de l' Øresund, entre Suède et Danemark, Li de 3510m, 2000.
- Le tunnel Thomassen, à Rotterdam, Li de 900 m, 2003.
- Le tunnel de Rostock sur la Warnow, Li de 700m, 2003
- Le tunnel de Salonique, Grèce Li de 1240m, 2009

Les comparaisons sont fournies en annexe 1.

De ces sept exemples – on pourrait en ajouter d'autres - il ressort que l'ouvrage moyen comporte une partie immergée de 1250m environ, soit cinq fois plus que celui qui traverserait la Loire (environ 250m immergés et 1 km au total) pour des dimensions proches du modèle Arcadis, soit 26m x h 8m – et son coût moyen ressort à 304 Millions d'Euros, soit ramené au mètre immergé : 243000 €

Actualisation : Depuis la création de ces ouvrages les normes de sécurité ont évolué et imposent pour tout ouvrage supérieur à 300 m de total recouvert, un surcoût de 30%, que par ailleurs il convient par rapport à la moyenne de livraison de ces tunnels (1999) de les actualiser à 35% environ (érosion monétaire), le coût moyen au mètre immergé passe de 243000 à 426 000 €..

Ceci nous donnerait, pour un ouvrage de 250 mètres immergés, 426000x250m = 106 Millions d'Euros en 2009 alors que le chiffre fourni à Nantes Métropole est (valeur 2004) de 250 Millions.

Mais il convient de bien situer les limites de l'exercice : les coûts indiqués sur le site « Structurae » sont-ils des coûts de travaux ou des coûts d'opération ? Si c'est la première hypothèse qui s'applique, il convient d'obérer tous les chiffres d'un coefficient de l'ordre de 1.5, ce qui situe le mètre aux environs de 640 000 € et le coût d'opération des 250 m aux alentours de 160 M €..

Toutefois, **on n'a pas tenu compte ici des récents gains de productivité** lesquels, d'après certaines thèses,(2)sont importants dans ce domaine. Ces gains-là interviennent à la baisse.

Il n'est pas dans mon intention, bien évidemment, de suggérer que l'évaluation faite en 2004 n'était pas sérieuse, mais plutôt de s'interroger sur un possible « luxe » de prestations ne correspondant plus forcément aux besoins réels actuels que je décrirai plus loin..

Les exemples donnés en annexes peuvent être très différents et surtout, compte tenu de longueurs très supérieures, suggèrent un coût des ouvrages, notamment du fait des nouvelles normes, bien plus élevé – D'autre part, la mise en place d'un chantier comporte des coûts fixes et le prix final n'est pas forcément proportionnel à la longueur.

Si, par exemple, nous prenons l'un des tunnels les plus chers, le tunnel de Rostock sur la Warnow, livré en 2003 et ressortant à 272 000 € le mètre immergé (215 M€ au total), il faudrait sans doute actualiser aux alentours de 300 000 €, mais il s'agit là d'un tunnel autoroutier quatre fois plus long que le nôtre !

On pourrait également penser que les conditions de creusement de la tranchée dans lequel les tronçons seront immergés peuvent poser en Loire des problèmes inconnus sur la Warnow (conditions de courant, navigation) – Tout cela est à prendre en compte. Comme le constructeur était Bouygues, il devrait être possible d'avoir des éclaircissements sur les éventuels problèmes rencontrés là-bas. Tout ceci nous interpelle sur la pertinence du cahier des charges, si on le réexamine à la lumière de données qui n'étaient peut-être pas présentes en 2003/4.

Nous en revenons donc aux besoins réels, présents et futurs. Et si ceux-ci étaient inférieurs à ceux qui ont été autrefois définis, le prix pourrait-il être revu à la baisse ? Un tunnel pour qui, finalement ?

C/ Les besoins en 2020 et au-delà.

En 2020 ou au-delà, la question d'un nouveau franchissement de Loire entre Cheviré et Saint Nazaire – même s'il est aujourd'hui différé- se reposera fatalement. Ce nouvel axe sera une voie de transit national et international, complémentaire de celui de Cheviré, aujourd'hui encombré, qu'il allégera des transits nord-sud qui l'encombrent. Donc dans ce domaine, la répartition des flux de transit se fera à terme entre deux ouvrages et, flux qui n'auront pas à déborder sur le tunnel urbain que nous envisageons.

Spécifications en fonction des besoins.

a/ Il est clair que l'ouvrage devra répondre d'abord à des besoins posés par les circonstances actuelles – Or **on lui demandera essentiellement- nous l'avons vu – de redresser des flux de véhicules légers et de favoriser les transports publics.** A l'instar du tunnel sous Fourvière à Lyon, il devrait alors logiquement être interdit aux véhicules de plus de 3,5m de haut et de 7 T 5 de PTC qui continueront à emprunter Cheviré.

b/ Les « busways » et autres autobus ou véhicules publics plus lourds, dont la hauteur ne doit pas excéder 3,30 m mais dont le PTC est excessif, seraient des dérogations.

c/ Dans ces circonstances, serait-il possible de se contenter d'un tunnel de 4m de haut, ce qui permettrait probablement de gagner 1,5 à 2 mètres sur la hauteur des caissons ?

d/ Ce qui est certain, c'est que de tels tunnels seraient bien plus sûrs que ceux qui acceptent toutes les marchandises. Les mêmes normes de sécurité s'appliqueraient-elles ? Les études remises à la suite des accidents du mont Blanc, semblent plutôt rassurantes pour des ouvrages de ce type.

e/ On sait que, dès que l'on dépasse 300 m de tunnel ou de tranchée couverte, le surcout est de 30% - Et s'il était techniquement possible de se limiter à cette longueur en complétant le dispositif, par des ouvertures sur les parties non immergées, pourrait-on faire l'économie de ce surcout ? ? (voir annexe 4et

http://www.cetu.equipement.gouv.fr/IMG/pdf/2-Reglementation_Demarche_securite_DL_2008_12_02_cle574ea4.pdf)

D/ La technique des tunnels immergés pour traverser des fleuves.

La technique est simple. Des caissons sont flottés et noyés dans une tranchée préparée à cet effet par dragage. Dans notre exemple, si le lit actuel du fleuve est maintenu aux alentours de 9 m au dessous du zéro des cartes marines (-12m env. de NGF), les alluvions à cet endroit, si l'on en croit les données publiées par le BRGM, descendent jusqu'à environ – 30m par rapport au NGF, et le bedrock (roche dure granitoïde) commence à environ 30m du Zéro NGF, soit 27 m du zéro CM – Il y aurait donc, en théorie la possibilité de creuser à cet endroit une tranchée descendant jusqu'à un maximum 30-12 = 18 mètres, ce qui est amplement suffisant pour y poser les caissons d'un tunnel de 6 à 7 mètres.. Sur la technique de construction, le lecteur pourra se reporter au site du centre d'Etude des Tunnels (CETU) <http://www.solem.ch/Tunnel/didacticiel/Projet/Projet/tunimmerges.htm> . Dans le monde, plus de 150 ouvrages de ce type ont déjà été construits, dont plus d'une centaine pour les tunnels routiers ou ferroviaires.

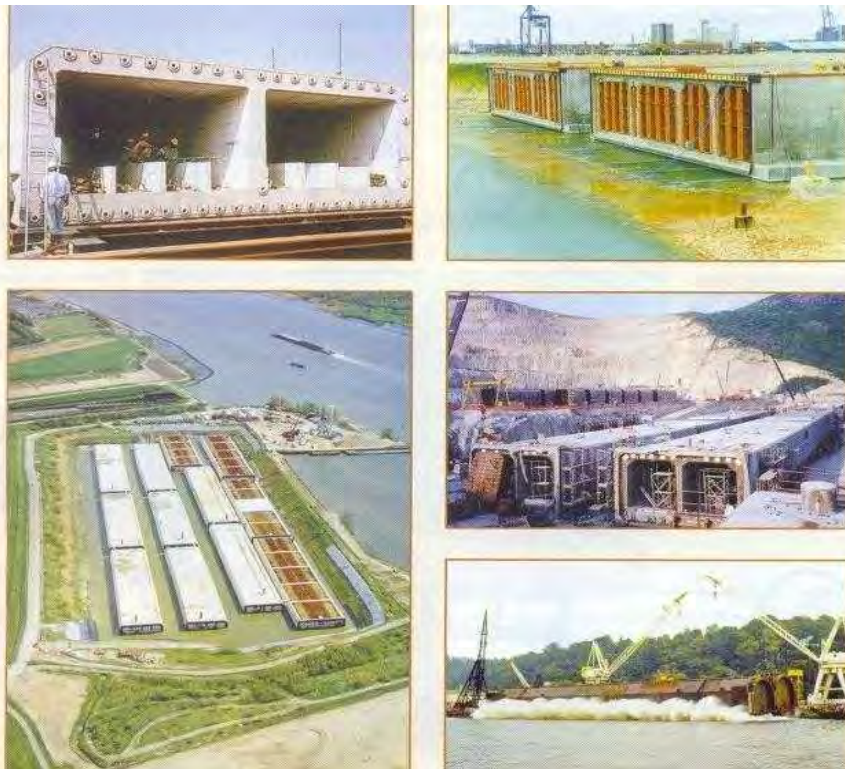
Alors que le creusement mécanisé (foration horizontale) est un processus continu dans lequel tout problème qui se pose au cours du creusement menace de retarder tout le projet, en matière de tunnel immergé, les trois opérations constitutives - dragage, construction des caissons et installation de ceux-ci - peuvent avoir cours simultanément, ce qui réduit les risques du programme. En partie pour cette raison, un tunnel immergé prend moins de temps à construire

que le tunnel foré équivalent, et son cout est bien moindre. Condition : une assise suffisamment basse pour laisser place à un chenal. Or nous l'avons.

La construction se poursuit à terre et les caissons peuvent être positionnés par flottaison, coulés sur leur socle d'ancrage et une fois l'étanchéité et le comblement de la tranchée réalisés, vidés de leur eau.

Les tunnels immergés peuvent être édifiés dans des conditions géologiques qui écartent la foration mécanique. Affouillement des dépôts alluvionnaires meubles estuariens ou les caissons seront ensuite déposés par flottation puis enfouis .

A propos des interférences sur la navigation, on a réussi à construire des tunnels immergés à travers des voies navigables extrêmement fréquentées sans problèmes majeurs. En matière d'étanchéité, les tunnels immergés sont presque toujours beaucoup plus étanches que les tunnels forés grâce à la construction en surface des caissons. Les jonctions sous l'eau se sont avérées efficaces dans des dizaines de tunnels.



Des exemples sont présentés (ici : principales sources sites du CETU et celui de Structurae,)

E. L'application Rezé-Chantenay

a/ Conditions géologiques

La banque de données du sous-sol du BRGM met à la disposition du public les coupes de sondages réalisés dans le secteur concerné ci-dessous- (Site <http://Infoterre.BRGM>) On constate que la roche dure est située au N (pt A) à 28 m au dessous du zéro NGF et au Sud (Pt B) à 33 m. on remarque aussi que vers l'aval un point remonte à -10m – ceci nous amène à déterminer un périmètre d'examen représenté par le quadrilatère rouge . Arcadis a pu avoir accès à d'autres résultats sans faire part de difficultés .



Précisions point A = jusqu'à 12 mètres sables argileux argiles

- 1 à 22 m : sables argileux fins moyens grossiers,
- 22 à 24 m : sables fins et argileux gris avec quelques galets
- 24m et + gneiss granitoïde très dur et fracturé.

B = jusqu'à 6 m sables moyens à grossier, nodules de vase.

- 6 à 8m : limon argileux, vase.
- 8 à 21m : sables fins et moyens intercalées de fines couches de vase.
- 21 à 33m: sables fins et moyens propres passages grossiers et graveleux.
- 33 m et plus : micaschistes sains, durs, gris bleu, très fracturés veinés de quartz.

C = Quelques blocs de granite vers 7 m .Sables et argiles jusqu'à 30m, puis micaschiste.

D = La roche dure remonte à 10 mètres

E = Remontée de la roche dure = 4 mètres.

b/ Réalisation d'un tunnel à caissons immergés.

Coupe de tunnel immergé

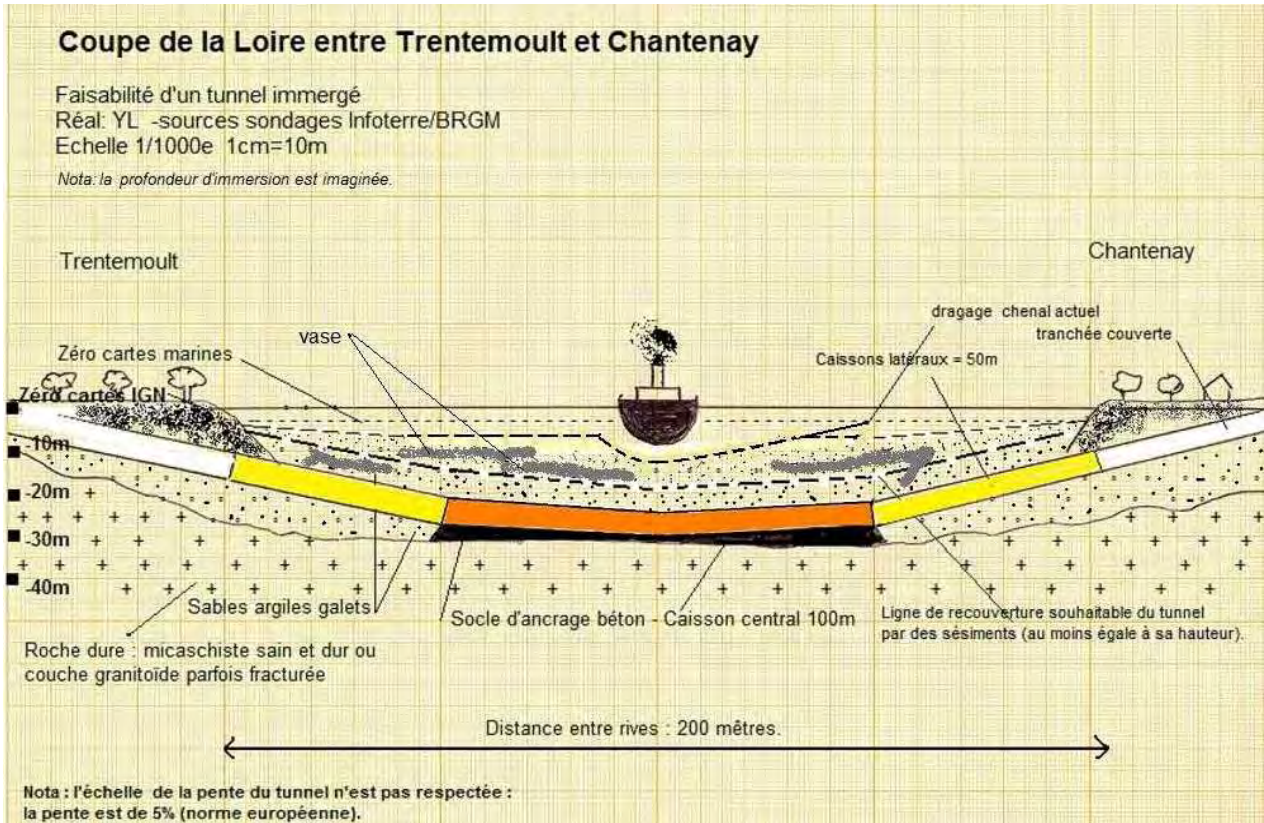
Sous réserve que des sondages complémentaires confirment qu'on dispose bien d'un « bedrock » à -30m et d'une couche alluvionnaire stabilisée au dessus, on pourrait imaginer un schéma comme ci-après qui, reporté sur une carte, donne un premier plan de positionnement vis à vis des axes de circulation. Une alternative notamment côté sud serait de terminer en tranchée ouverte (comme la voie ferrée qui traverse Nantes) au delà des 300 mètres. Du côté Nord on pourrait réaliser des bouches de sécurité.

Un calcul d'optimisation tenant compte, d'une part, de la densité globale du tunnel dans sa partie immergée, d'autre part, de la charge minimum d'alluvions à appliquer sur ledit tunnel pour compenser les forces de flottaison devrait permettre de gagner sensiblement en profondeur d'enfouissement et surtout de réduire au minimum la longueur totale de l'ouvrage, dans le respect la norme des 5% de pente.

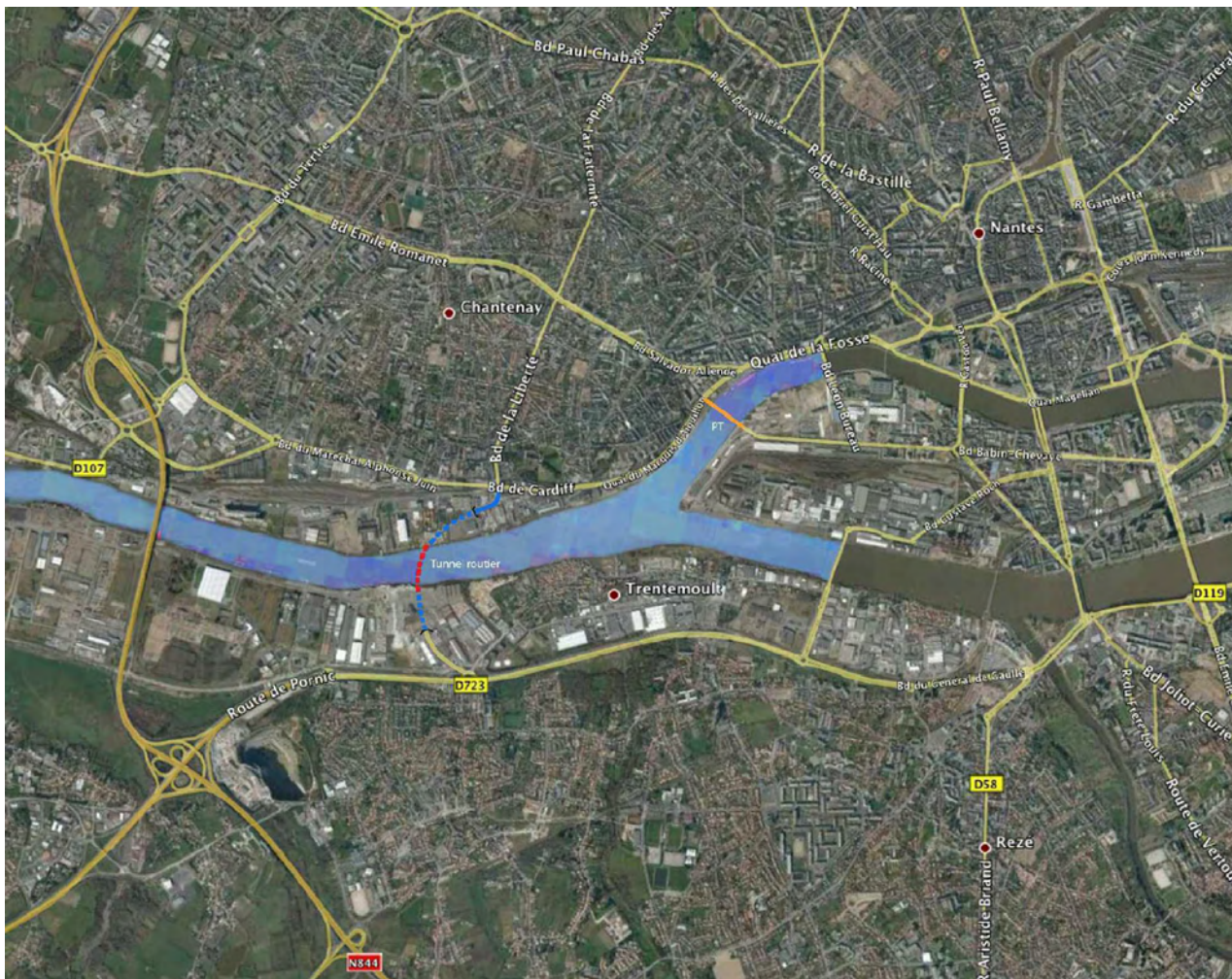
c/ Dépense /financement.

A quelle dépense aboutirait-on si la hauteur était réduite et si 700 des 1000 mètres étaient réalisables en tranchée ouverte (ou avec ouvertures de sécurité) ? On peut penser que le cout de l'ouvrage s'en verrait considérablement réduit jusqu'à se situer au dessous d'un pont levant.

Incidemment on peut signaler que le pont de Rostock est un pont autoroutier à péage et qu'une concession pour un ouvrage urbain ne semble pas être incompatible avec le droit français (à vérifier).



Ce schéma synoptique n'a d'autre prétention qu'indicative.



Une Loire maritime (en bleu) qui conserve le tirant autorisé à Chevire (52m à marée haute),
 Le franchissement orange « PT » ne pouvant être qu'un pont à transbordeur.

Conclusions

- Les blocages et saturations du pont de Cheviré et, dans une moindre mesure du centre ville, par des transits nord-sud de véhicules légers qui n'ont rien à y faire, pourraient être considérablement allégés par un franchissement entre Rezé et Chantenay. Ces encombrements semblent provenir des relations inter quartiers, des études de flux devront vérifier les origines et destinations.
- Une recherche prospective devrait essayer de dégager les tendances lourdes de l'évolution du « mix urbain léger roulant » ; elle est nécessaire de toute façon si l'on doit requalifier les types de circulation privée dans la zone la plus dense. Compte tenu des impératifs liés à la pollution des villes, jamais la période n'a été plus favorable à l'acceptation par les citoyens de révisions de fond assises sur des logiques nouvelles.
- Le transport public de masse est nécessaire et doit être prioritaire dans ce dossier, mais il ne serait pas raisonnable de considérer que les « nouveaux véhicules verts », tels que voiturettes électriques, deux roues, etc... ne seront pas un phénomène de masse aussi. Les constructeurs nous l'assurent.
- Aux raisons qui s'opposaient à un pont bas ou à un pont levant entre Rezé et Chantenay s'ajoute maintenant un intérêt confirmé des Nantais pour la renaissance du fait maritime dans l'espace-source que constitue le reste de Loire navigable dans la ville. A ces évolutions récentes, plutôt liées au tourisme, mais pas seulement, doit s'ajouter le principe de précaution qui impose un tirant d'air suffisant..
- Les études de tunnel qui aboutissaient à un ouvrage d'un coût exorbitant devraient être reprises au profit d'un ouvrage *ad minima* pour véhicules légers et de services, publics et privés, dont les dimensions sont inférieures. L'ouvrage, interdit aux poids lourds, s'en verrait financièrement allégé d'autant plus qu'une partie en « tranchée ouverte » ou comportant des ouvertures doit être envisageable.
- En ce qui concerne le financement, pourquoi ne pas imaginer, à l'instar du tunnel de Rostock, seul tunnel autoroutier à péage en RFA, une concession de longue durée ou un financement privé ?

L'idée que dans un avenir prévisible, le prix du pétrole aurait pour effet de réduire la circulation urbaine privée est un faux bon prétexte. A moins que l'on interdise les rues aux voitures, les relations inter-quartiers se feront encore longtemps sur véhicules individuels de deux, trois ou quatre roues et lorsqu'ils auront fini de polluer, l'argument des contraintes nouvelles sera sûrement moins facile, politiquement, à présenter au citoyen. Ce qu'on arrivera à réduire, c'est surtout la taille du véhicule urbain moyen et sa présence sur quelques voies où presque tous les véhicules seront interdits. La libre circulation des Nantais n'est pas une option, mais elle ne doit pas non plus être un prétexte à encombrer des axes où elle n'a rien à faire.

Yves Lainé 4 novembre 2009

(1) les résultats de cette enquête seront publiés en janvier 2010 dans le magazine « Place Publique » sous le titre : « Les Nantais conservent le goût du large ».

(2) Thèse de doctorat Zhan Chi 1994 Ecole Nle P&C - INIST-CNRS 1994 Titre : La baisse du cout des tunnels, causes et conséquences. Cette étude met en évidence une tendance d'évolution constante des coûts en France des tunnels de métros français qui est de l'ordre de -3,5% par an en moyenne soit pendant la période 1975-1990, environ -50% au total.

Annexe 1- Des tunnels immergés en Europe. Tableau synoptique des caractéristiques et des coûts publiés.

Nom	Lieu Pays année Type	Longueur immergée m	Longueur totale m	Hauteur Largeur	Coût (ordre de)
Øresund	Suède Danemark 2000 Ferroviaire et routier Dumez, Pihl, Laing...	3510 20 caissons de 175m	3750	42x9m	Skr 3,8mrds ou 376 M € Coût m = 107 000
Salonique	Grèce 2009 routier Vinci/Bouygues/Hochtief routier 6 voies	1240	3800	12.6x8.75	322 M € Cour au m : 260 000
Rostock Rivière Warnow	RFA 2003 Béton armé préfabriqué autoroutier(Bouygues)	790m 6 caissons x 132m	4000m yc bretelles d'accès.	21.3x9m	215 M €
Jack Lynch	Irlande Rivière Lee 1999 Béton précontraint -routier	610 5 Caissons de 122m	975	23.8x8.4	170 Mio IR£ env 255 M€ Au m : 418 000
Sydney harbour	1992 béton armé routier	960m 8 caissons 120m	2300	26.1x7.45	738 M A\$ env 369 M€ Au m = 384000€
Ems	RFA Leer routier 2x2 voies 1990	945	1453	27.50x5m(int)	DM 150M =75 M€ Au m : 80 000€
Thomassen (Calandkanaal)	Rotterdam NL 2003 routier	686 6 caissons x 114m	1500	4 voies 6m	159 M€ Au m 177 000 €
Moyennes		1248	2540	26x8	304 M €

Annexe 2 – détails du tunnel de Rostock (sur la Warnow)



Tunnel de Rostock (Mecklemburg)–2003

Concession privée - profondeur de tranchée 22m

Lectures pertinentes :

Hehenberger, Patrick [Financement privé d'infrastructures routières](#), *Tracés*, n. 12, 22.06.2005.

Miret, Olivier [La traversée sous-fluviale de la Warnow à Rostock en Allemagne](#), dans "Travaux", février 2003, n. 794 .

Annexe 3 Aménagements du périphérique nantais.

Extrait de la fiche Pdf Préfecture régionale Pays de la Loire 16.07.09

www.loire-atlantique.pref.gouv.fr/.../peripherique_nantais.html

Périphérique nantais : la mobilisation des partenaires pour un équipement structurant pour les territoires ; une infrastructure stratégique très sollicitée

Long de 40 km de 2 X 2 voies, le périphérique nantais est classé réseau routier national (RN844) depuis le 1er janvier 2006 conformément aux dispositions prévues dans le Dossier de Voirie de l'Agglomération . Cet équipement structurant assure des dessertes nationales et régionales, permet l'accès aux grands équipements tels que le Grand Port Maritime de Nantes Saint-Nazaire ou le futur aéroport du Grand Ouest à Notre-Dame-des-Landes et permet une distribution du trafic indispensable au fonctionnement de l'agglomération nantaise.

Avec un trafic moyen journalier annuel entre 52 000 et 100 000 véhicules par jour, le périphérique connaît des difficultés de circulation récurrentes :

- des secteurs de congestion importants (le périphérique nord avec près de 100 000 véhicules par jour et le périphérique ouest avec près de 90 000 véhicules par jour) ;
- des points de saturation liés à la configuration de l'équipement (le passage du Pont de Cheviré, certains échangeurs tels que la Porte de Gesvres, la jonction RN 444 / RN165, la Porte d'Armor, etc.) ;
- des fermetures ponctuelles liées aux conditions climatiques (sur le Pont de Cheviré lors de vents supérieurs à 110 km/h et sur le périphérique Est par inondation lors de crues décennales du Gesvres).

L'engagement des acteurs nationaux et locaux pour l'aménagement du périphérique nantais L'État, le Conseil Régional des Pays de la Loire, le Conseil Général de Loire-Atlantique et Nantes Métropole ont convenu de consacrer plus de 30 M€ à un programme d'aménagement du périphérique pour la période 2009-2014 :

- réalisation d'une étude globale portant sur l'ensemble du périphérique pour définir les aménagements à effectuer ;
- achèvement de la mise en place du système de gestion et d'exploitation du périphérique ;
- mise en oeuvre du programme de travaux à réaliser sur la partie nord du périphérique (dans le cadre de l'étude globale).

(extraits)

Annexe 4. Dispositions de sécurité des tunnels.

<http://portail.documentation.equipement.gouv.fr/dtrf/notice.html?id=Dtrf-0004068>

Le décret du 24 juin 2005 :

- définit les catégories d'ouvrages routiers dont l'exploitation présente des risques particuliers pour la sécurité des personnes (articles R. 118-1-1 et R. 118-1-2 du code)
- crée une commission nationale d'évaluation de la sécurité des ouvrages routiers (CNESOR), en fixe la composition et les règles de fonctionnement (article R. 118-2-1 à R. 118-2-3 du code)

[Article R118-1-1](#) du Code de la voirie routière.

Constituent des ouvrages dont l'exploitation présente des risques particuliers pour la sécurité des personnes au sens de l'[article L. 118-1](#) les tunnels routiers d'une longueur supérieure à 300 mètres.

Pour l'application du présent titre, un tunnel désigne toute route ou chaussée située sous un ouvrage de couverture qui, quel que soit son mode de construction, crée un espace confiné. Une section de route ou de chaussée située sous un ouvrage de couverture n'est pas un espace confiné dès lors que l'ouvrage de couverture comporte des ouvertures vers l'extérieur dont la surface est égale ou supérieure à 1 m² par voie de circulation et par mètre de chaussée.

La longueur d'un tunnel est celle de la voie de circulation la plus longue située sous un ouvrage de couverture. Un tunnel est considéré comme à double sens de circulation si l'espace confiné qu'il comporte est autorisé aux deux sens de circulation.

Les services d'intervention sont constitués de tous les services locaux intervenant en cas d'accident, qu'ils soient publics ou privés, qu'ils fassent partie du personnel attaché à l'ouvrage ou non.

http://www.cetu.equipement.gouv.fr/IMG/pdf/2-Reglementation_Demarche_securite_DL_2008_12_02_cle574ea4.pdf