

POUR UN NOUVEAU PROJET DE METRO A BORDEAUX

TOWARD A NEW METRO PROJECT FOR BORDEAUX

Jean PIRAUD

ANTEA, Orléans, France

RÉSUMÉ — Vingt ans après l'échec d'un premier projet de métro à Bordeaux, des éléments nouveaux justifient de relancer cette idée. D'abord, le succès du tram a été tel qu'il est de plus en plus saturé ; ensuite, des progrès techniques récents ont révolutionné la conception et la construction des tunnels. L'auteur, en se basant sur son expérience du projet précédent, propose un nouveau concept de métro basé sur une ligne circulaire, dont le tunnel et les stations seraient creusés avec un tunnelier à pression de terre à 25 m de profondeur.

ABSTRACT — Twenty years after the cancelation of a first metro project at Bordeaux, new developments justify a renewal of the project. First of all, the success of the new tram network induces an increasing overloading; on the other hand, the methods of tunnel design and construction have been revolutionized by some recent technical innovations. The author, on the basis of its own experience of the previous miscarried project, proposes a new circular metro concept, with a single tunnel including the stations and driven at 25 m depth using an earth pressure balanced shield.

1. L'exception bordelaise

Parmi les grandes métropoles européennes de quelque 700 000 habitants, Bordeaux se singularise par **l'absence de métro**, qu'il s'agisse de lignes de métro proprement dites (comme à Toulouse, Séville, Gênes, Glasgow...), de tramways rapides traversant le centre-ville en souterrain (comme à Anvers, Cologne, Francfort...), ou de voies ferrées suburbaines prolongées en tunnel sous le centre (comme à Porto, Bilbao, Valence, Zurich...). Il arrive même que des villes de moindre importance se soient offert un vrai métro : c'est le cas de Brescia, Lausanne ou Rennes.

2. Le projet de métro des années Chaban

Dans les années 1980, les transports bordelais étaient engagés dans un cercle vicieux très classique : l'explosion du trafic automobile avait conduit dès 1957 à la suppression des trams, puis au ralentissement et à la dégradation progressive du réseau de bus, et finalement au dépérissement du centre historique, avec report du développement industriel et commercial le long de la rocade.

En 1986, la Communauté urbaine de Bordeaux (CUB), sous l'impulsion du maire Chaban-Delmas, décida de se lancer dans un projet ambitieux prévoyant la construction simultanée de deux lignes de métro de type VAL, se croisant sous la place des Quinconces (cf. Fig. 1). L'exemple de Lille, où roulait déjà un métro

automatique, et surtout de Toulouse, qui avait aussi décidé de s'en doter, justifiait de mettre les bouchées doubles. Des études détaillées furent lancées, des centaines de sondages réalisés, et les travaux mis en appel d'offres.

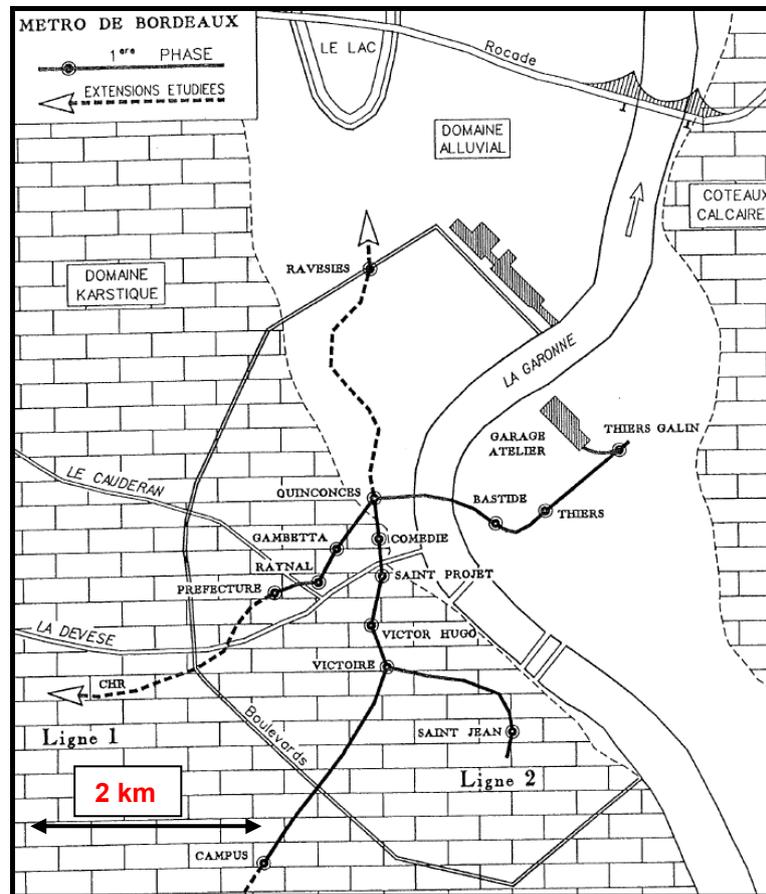


Figure 1 . Plan des deux lignes de métro envisagées en 1993

Mais au vu de la dépense à engager (près de 7 milliards de francs pour deux lignes totalisant 22 km), les élus hésitèrent : il apparaissait que ce très gros investissement n'apporterait qu'une solution partielle aux problèmes de transport dans l'agglomération. Finalement, la CUB décida en 1994 d'abandonner le projet.

En réalité, l'idée de construire un métro était prématurée, car elle méconnaissait une particularité urbanistique propre à Bordeaux : dès qu'on sort de l'enceinte des « Cours », la densité de population devient très faible du fait d'une urbanisation en « échoppes » (maisons de ville sans étage), puis en pavillons isolés au-delà des « Boulevards ». Avec cette configuration, les diverses branches du métro auraient offert une desserte trop lourde pour un trafic limité. En fin de compte, le projet n'aurait vraiment été utile qu'à une minorité de Bordelais, la majorité restant engluée dans les embouteillages ou dans un réseau de bus de plus en plus lent.

Par surcroît, le coût du métro – en souterrain comme en surface – était plombé par les difficultés géotechniques inhérentes au sous-sol de Bordeaux (cf. Guichard et al.,

1993), difficultés qui étaient source d'incertitudes et de risques quant à l'impact des travaux sur le bâti existant et au respect des coûts et des délais annoncés.

3. Les difficultés du sous-sol de Bordeaux

3.1. La série stratigraphique

Du point de vue géologique, le site de Bordeaux peut être divisé en deux grands ensembles (cf. Figure1 et Fradin et al., 1993) :

- au centre, le *domaine alluvial*, ancien lit majeur de la Garonne ;
- de part et d'autre, le *domaine karstique*, représenté sur la rive gauche par un plateau calcaire fortement karstifié jusqu'à 20 à 30 m de profondeur.

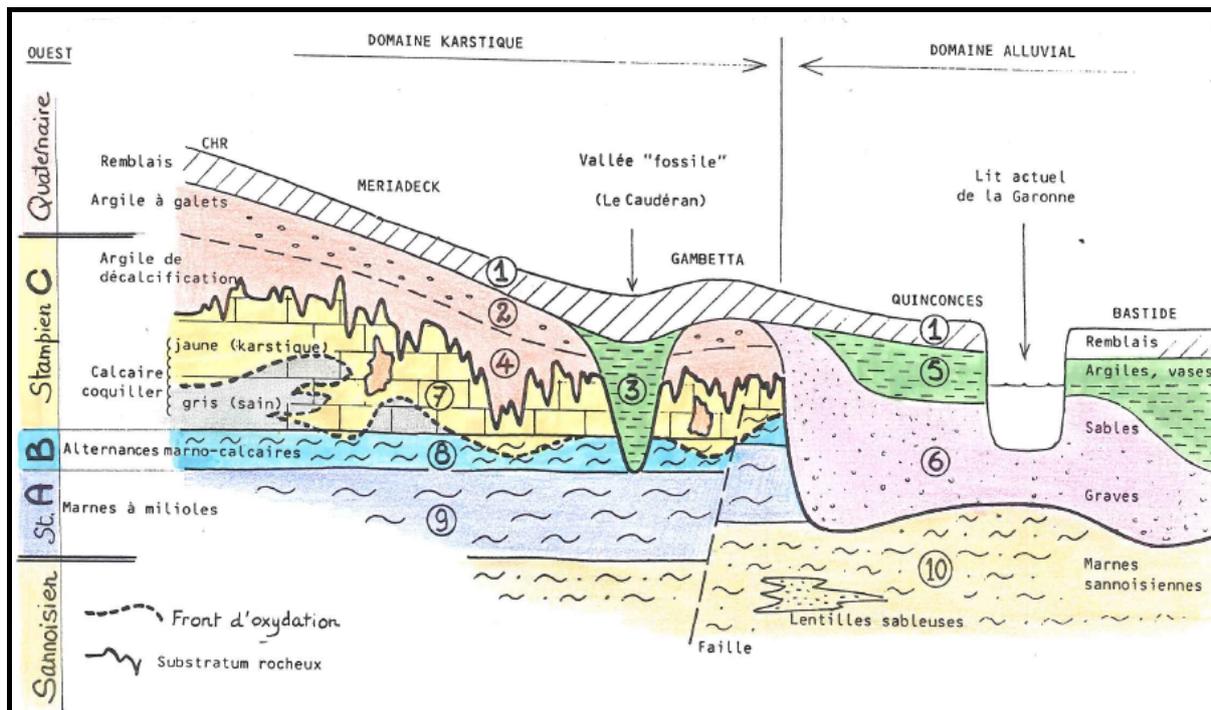


Figure 2 . Coupe géologique schématique du sous-sol de Bordeaux le long de la ligne 1, entre le CHR et La Bastide

La coupe géologique de la figure 2 schématise la superposition des terrains que devaient traverser le métro :

a) Dans le **domaine alluvial**, on y trouve de haut en bas :

- des *argiles molles* d'âge flandrien (terrain n° 5), à très faible cohésion non drainée ($C_u \sim 30$ kPa) et à niveaux tourbeux, le tout épais de 5 à 15 m ;
- des *sables et graviers* (n° 6) très perméables ($k \sim 10^{-4}$ m/s), épais de 5-15 m ;
- des *marnes silteuses du Sannoisien* (n° 10), compactes et imperméables hormis quelques lentilles sableuses, et dont le toit oscille autour de la cote moins 16 NGF ; ces marnes servent de radier étanche aux fouilles qui y sont fréquemment ancrées.

b) Dans le **domaine karstique**, on rencontre successivement :

- des *remblais* (n° 1) parfois très épais (8 m à Gambetta et Saint-Projet) ;
- l'*Argile à galets* (n° 2), ancienne terrasse alluviale qui passe en continuité à l'argile de décalcification du calcaire sous-jacent (n° 4) ; celle-ci contient beaucoup de résidus calcaires et remplit parfois de profondes dolines ;
- le *Calcaire à Astéries* (n° 7), substratum d'âge stampien dont la cote et la résistance uniaxiale sont extraordinairement variables ($R_c = 17$ MPa en moyenne, mais elle peut varier de 1 à 100 MPa à quelques mètres de distance). On ne trouve ce calcaire dans son état originel non oxydé qu'en profondeur (plus de 20 m). En deçà, il a subi une karstification plus ou moins intense, pouvant conduire soit à sa décomposition en un « sable calcaire », soit à la formation de cavités restées vides ou remplies de matériaux meubles et décomprimés ; leur taille varie de quelques dm^3 à la centaine de m^3 , et elles constituent environ 20 % de la masse calcaire ;
- les *Alternances marno-calcaires* (n° 8), également d'âge stampien : c'est une succession de bancs décimétriques de calcaire très dur et de marnes noires tendres ; l'ensemble, épais de 5 m, peut être karstifié jusqu'à une trentaine de mètres de profondeur, rarement au-delà ;
- les *Marnes à Milioles* (n° 9), constituées de calcaires marneux du Stampien inférieur, homogènes et non karstifiés.

3.2. Les difficultés géotechniques résultantes

Deux types de terrains, que les tunnels du métro ne pouvaient guère éviter, présentent des difficultés considérables pour des travaux souterrains :

- d'abord le calcaire karstique : du fait de son extrême hétérogénéité, on pensait ne pouvoir le franchir qu'après des injections systématiques à l'avancement (comme ce fut le cas lors du creusement du collecteur Caudéran-Naujac), et sans pouvoir garantir l'absence de tassements voire de fontis en surface, même avec un tunnelier à confinement ;
- ensuite les argiles flandriennes, où il est difficile d'éviter de forts tassements en surface, et qui imposent des fondations profondes pour les ouvrages superficiels (y compris les ateliers).

Ces sujétions constituaient bien sûr une cause de surcoûts importants – et de risques difficiles à chiffrer – pour un métro souterrain, dont la calotte était presque toujours située dans l'un de ces deux terrains pour limiter la profondeur des stations.

4. Renouveau et limites du tram

Peu après l'abandon du métro, un projet de trams en site propre fut mis à l'étude par la CUB ; les élus approuvèrent le projet en 1997, lancèrent rapidement les travaux et les premiers tronçons ouvrirent en 2003. Pour un coût bien inférieur à celui du métro, Bordeaux réussit ainsi à se doter d'un réseau de **3 lignes de tram** totalisant aujourd'hui 44 km (bientôt 79 km), et desservant à portée de marche à pied plus de la moitié des habitants et des emplois. Les 7 branches du tram, conjuguées à un

réseau de bus rénové, irriguent aujourd'hui l'ensemble de l'agglomération et ont permis de doubler la fréquentation des transports en commun, tout en réduisant la circulation automobile. La qualité de vie retrouvée en centre-ville, en particulier sur les quais, attire à nouveau habitants et commerces.

Cependant, ce réseau de tram est de plus en plus **victime de son succès** : la surcharge des tronçons centraux nuit à son confort et à sa régularité, chaque prolongement en banlieue aggravant la situation. Simultanément, la fréquentation des parkings-relais plafonne, car le gain de temps apporté à l'usager qui y laisse sa voiture n'est pas toujours suffisant pour compenser la gêne occasionnée par le changement voiture/tram. Force est de reconnaître que le système tram+bus a atteint aujourd'hui ses limites intrinsèques, sans espoir d'amélioration majeure.

Chaban avait-il donc raison ? A son époque, non : deux lignes de métro plaquées sur un réseau de bus vieillissant n'auraient sûrement pas inversé la tendance au tout-automobile. Mais aujourd'hui que la ville est dotée d'un réseau de tram+bus efficace et massivement utilisé, oui, une ligne de métro devient un investissement pertinent.

5. Objectifs d'un anneau de métro

Nous proposons que Bordeaux se dote d'une ligne de métro « circulaire », qui constituerait en rive gauche un anneau intermédiaire entre Cours et Boulevards, qui desservirait aussi la rive droite et qui serait connectée à la rocade (cf. fig. 3). Pour améliorer le fonctionnement global des transports urbains et justifier l'investissement nécessaire, cette ligne doit satisfaire **quatre objectifs prioritaires** :

- 1) *Soulager les tronçons centraux du tram*, en captant les « voyageurs inutiles » qui ne vont vers le centre que pour y chercher une correspondance ;
- 2) *Desservir la gare Saint-Jean* par un moyen de transport plus efficace que la seule ligne B du tram, très insuffisante pour la gare centrale d'une agglomération millionnaire ; par là-même, soulager cette ligne B et les lignes de bus surchargées qui y convergent. Cette remise à niveau s'impose d'autant plus que la LGV Tours-Bordeaux et le projet EURATLANTIQUE apporteront un gros trafic supplémentaire.
- 3) *Desservir les quartiers Mériadeck et Intendance*, qui sont les pôles d'attraction majeurs de toute la ville, que ce soit du point de vue emplois, achats ou loisirs.
- 4) *Offrir aux automobilistes un accès rapide à la gare et au centre-ville*, grâce à de grands parcs-relais facilement accessibles depuis la Rocade et les Boulevards. On a vu en effet que le report modal vers le tram reste modeste du fait de sa faible vitesse : seul un métro peut offrir un gain de temps suffisant pour convaincre les automobilistes de quitter leur véhicule.

Une solution pour répondre à ces quatre objectifs est de concevoir un anneau de métro selon le tracé suivant : Gare Saint-Jean, Nansouty, Barrière de Pessac, Stade Chaban-Delmas, Mériadeck, Quinconces, Bastide, Benauges, Floirac, quai de Brienne, Gare Saint-Jean (cf. fig. 4). Ce tracé a l'avantage de satisfaire également un ensemble de **fonctions secondaires**, dont la somme contribuera à améliorer sensiblement le bilan socio-économique de l'opération :

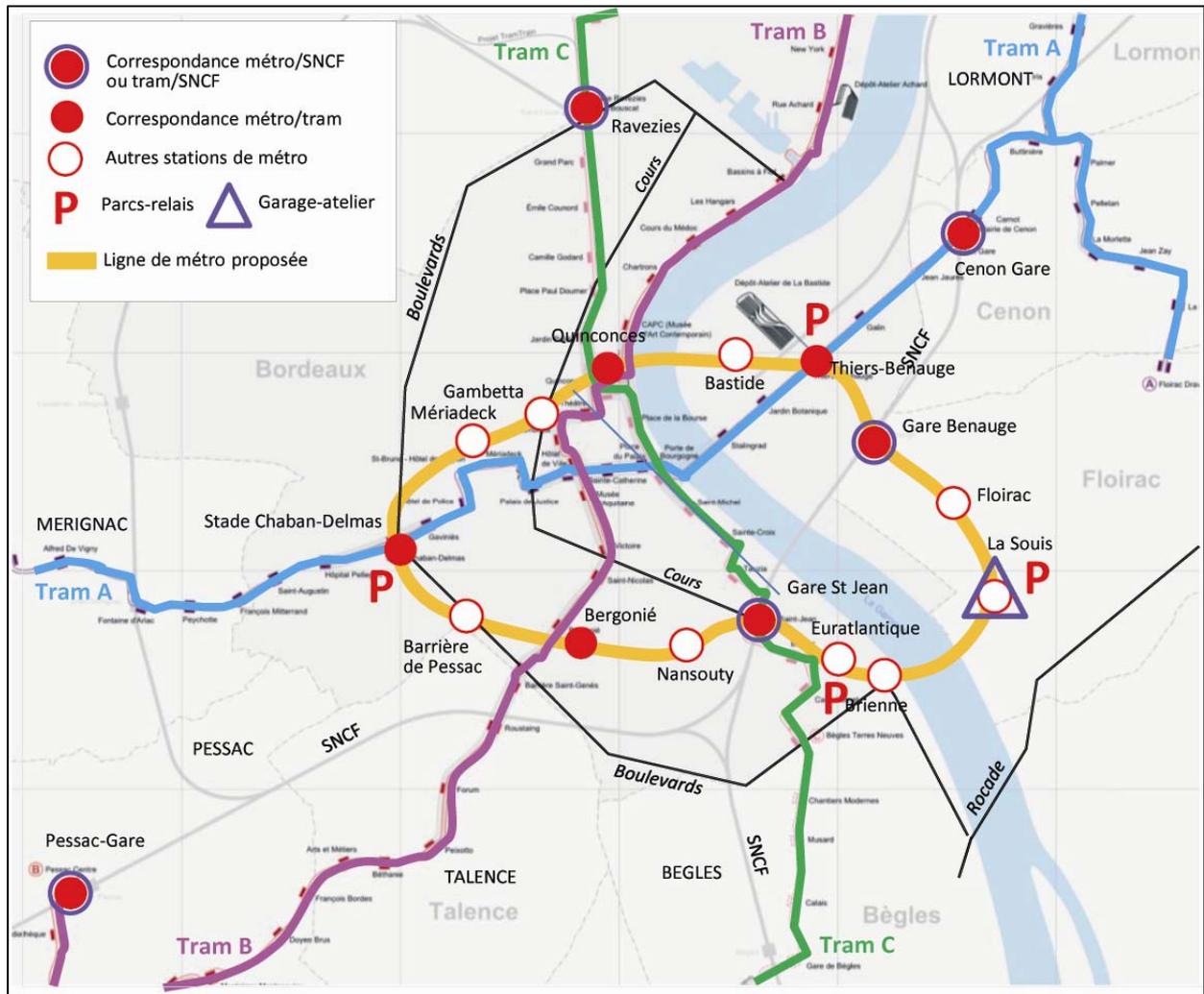


Figure 3 . Esquisse d'une ligne de métro circulaire pour Bordeaux

- Desservir le quartier Bastide* : l'expérience des 30 dernières années a montré que le développement de la rive droite ne décollera pas vraiment tant qu'il n'y aura pas de liaison rapide entre le cœur du quartier Bastide rénové et les Quinconces.
- Contribuer au succès du projet EURATLANTIQUE* : comme pour La Bastide, l'accessibilité et l'image de ce nouveau quartier ne peuvent que bénéficier d'une desserte par métro sur les deux rives, qui améliorera sa cohésion.
- Soulager la gare Saint-Jean*, grâce à une nouvelle gare SNCF à 4 voies dans le quartier Benauges, en correspondance avec le métro, et où s'arrêteraient plus commodément qu'à Cenon-Gare tous les TER venant du quadrant Nord-Est.
- Desservir l'hôpital Pellegrin et le stade Chaban-Delmas*, source de grosses pointes de trafic, et soulager ainsi les lignes de bus desservant les boulevards.
- Desservir divers quartiers très peuplés, mais restés à l'écart du réseau de tram* (Benauges, Nansouty...).

6. Caractéristiques du nouveau métro

Pour favoriser le report modal, le métro devra être à la fois très rapide et très fréquent (moins de 3 minutes d'attente), ce qui amène naturellement à choisir un

méτρο léger automatique de type VAL, comme à Lille, Toulouse et Rennes. Dans le cas présent, une ligne de méτρο circulaire sera plus facile à exploiter car elle évite les rebroussements aux extrémités. En rive gauche, cette ligne sera bien sûr souterraine, faute de place en surface ; en rive droite, on peut envisager un viaduc entre Benauges et Saint-Jean, qui serait moins coûteux qu'un tunnel et bien adapté à un tissu urbain plus aéré, mais qui nécessiterait deux ouvrages complexes pour passer du souterrain à l'aérien.

Il faudra construire également un garage-atelier du côté de Floirac. Si la ligne est entièrement souterraine, il pourrait être économique de faire aussi un atelier souterrain, dans une grande fouille entre parois moulées ancrées dans les marnes sannoisiennes ; celle-ci pourrait aussi contenir, au-dessus des ateliers, un grand parking semi-enterré en forme de cratère, directement relié à la Rocade. En effet, l'objectif essentiel d'intermodalité implique de **vastes parcs-relais**, qui soient bien reliés aux grands axes (Rocade et Boulevards) et dotés de milliers de places chacun ; ils pourraient être implantés à la Bastide, à Floirac, quai de Brienne et près (voire sous) le stade Chaban-Delmas.

7. Les progrès techniques du génie civil souterrain

On sait que les difficultés géotechniques du sous-sol de Bordeaux avaient contribué à l'abandon du premier projet de méτρο il y a 20 ans. Deux innovations majeures permettraient aujourd'hui de les surmonter :

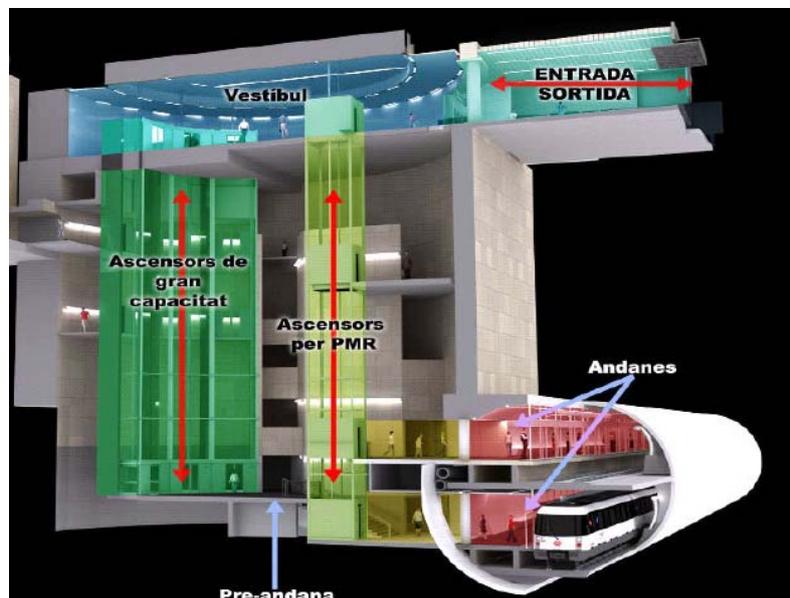


Figure 4 . Le concept barcelonais de méτρο à voies superposées accessibles par puits

- **Le tunnel à étage.** Cette invention espagnole, mise en œuvre sur la ligne 9 du méτρο de Barcelone, bouleverse la conception des tunnels de méτρο (cf. fig. 4 et Deulofeu, 2009). Elle consiste d'une part à creuser le tunnel courant sur toute sa longueur avec un diamètre suffisant (\varnothing_{ext} 11 m env.) pour y loger les quais des

stations, d'autre part à superposer les deux voies grâce à une dalle-béton intermédiaire. Le tunnel est certes plus coûteux, mais on fait une économie considérable sur le coût des stations, réduites à de simples puits d'accès Ø 20 m creusés entre parois moulées, avec accès aux quais par batteries d'ascenseurs. L'implantation de tels puits est beaucoup plus facile que celle de stations classiques creusées à ciel ouvert – avantage considérable en tissu urbain dense.

- **Le tunnelier à pression de terre.** Ce type de machine est aujourd'hui très bien maîtrisé, et permettrait de creuser le tunnel unique du métro – et ipso facto ses stations – à une cadence de 2 à 3 km/an. Pour éviter les aléas dus au calcaire karstique du Stampien en rive gauche, et aux argiles du Flandrien en rive droite, il serait intéressant que le tunnel soit calé dans les horizons marneux sous-jacents, qui sont homogènes, en général non karstifiés et bien adaptés pour un tunnelier à pression de terre ; on éviterait ainsi, contrairement au projet des années 1990 :
 - de devoir implanter le tunnel si possible sous voirie large ;
 - de devoir traiter au préalable le terrain ou les fondations des immeubles dans les zones sensibles – opération coûteuse, gênante et au succès incertain ;
 - de faire des reconnaissances systématiques à l'avancement du tunnelier.

Certes, le tunnel et les quais seraient alors plus profonds (calotte vers 25 m de profondeur), mais le système des puits d'accès rend marginal le surcoût de cet approfondissement, tout en diminuant considérablement les risques constructifs.

8. Conclusion

Le concept de tunnel barcelonais et la maîtrise des tunneliers à pression de terre permettent aujourd'hui de concevoir un projet de métro moins coûteux et plus sûr, composé d'un tube unique de 15 km incluant en son sein une quinzaine de stations accessibles par autant de puits. La réalisation d'un tel métro ne demanderait pas d'expropriation (sauf pour les ateliers), n'occuperait que des emprises minimales en surface et ne présenterait pas de risque pour le bâti existant. La comparaison avec des villes similaires montre que cet investissement (de l'ordre du milliard d'euros) n'est pas hors de portée pour une ville comme Bordeaux, qui tient là une occasion de rejoindre ses rivales dans le peloton de tête des métropoles européennes.

Références

- Deulofeu, C. (2009) – La ligne 9 du métro de Barcelone : creusement du tronçon Can Zam-Rio Bessos. *Revue Tunnels & Esp. Sout.*, N° 216, nov. 2009, 315-322.
- Fradin B., Largillier JF., Piraud J. (1993) – Projet du métro de Bordeaux ; incidence du contexte géologique sur la géométrie de l'ouvrage et les méthodes d'exécution – CR des Journées AFTES de Toulon, oct. 1993, éd. Balkema, 47-53.
- Guichard Th., Champetier de Ribes F. (1993) – Creusement des tunnels en terrain karstique - CR des Journées AFTES de Toulon, oct. 1993, éd. Balkema, 233-240.