

GAUTRAIN – UN PROJET MODERNE DANS UN PAYS EN PLEINE OUVERTURE

LA RECHERCHE SYSTÉMATIQUE D'ÉCONOMIE ET LA COORDINATION RIGOUREUSE AVEC LES PARTENAIRES ET LES AUTORITÉS GARANTISSENT LA VALEUR AJOUTÉE POUR LE CLIENT

Olivier MARTIN, Alain CHAULIAC, Philippe FUNK

Bouygues Travaux Publics, Bombela TKC, Bouygues Travaux Publics

Cet article présente la phase clef de développement qui est propre aux ouvrages en concession et qui se situe entre la lettre d'intention de commande et le closing financier. Cette phase essentielle pour valider les paris de l'offre et lancer le projet sur des bases techniques solides, est décrite dans ses objectifs, son organisation et ses points clefs. Le projet de Gautrain consiste à développer, concevoir et construire, exploiter et maintenir un système de transport rapide de 77km de longueur, 9,000 places de parkings réparties sur les 10 stations et enfin un réseau secondaire de bus dédié au projet et desservant une zone de 10 km autour de chaque station. Bouygues Travaux Publics est le leader technique du projet.

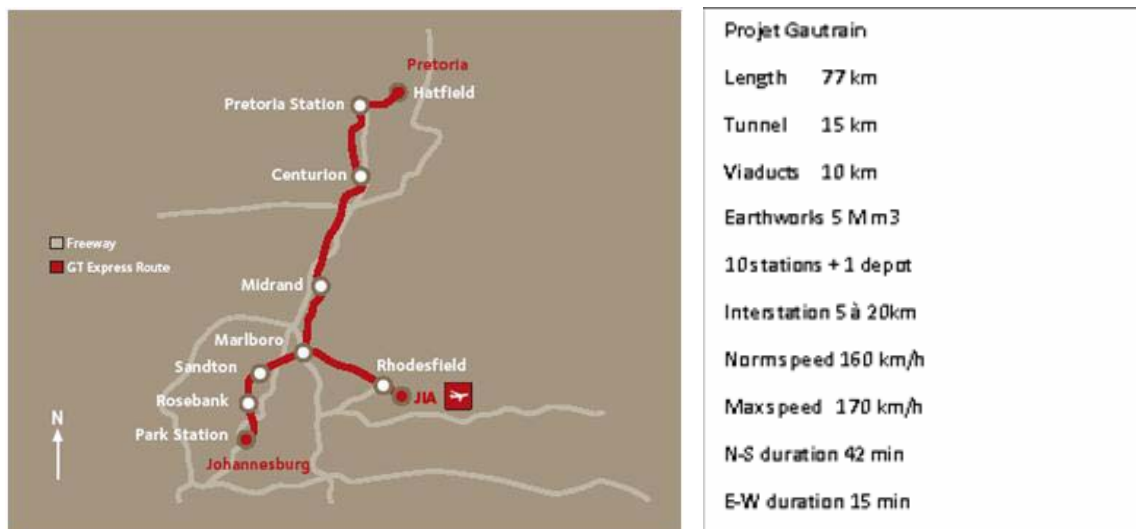


Figure 1 : Le projet et ses chiffres clés

1. LA GENÈSE DU PROJET JUSQU'À L'APPEL D'OFFRE

Le projet s'inscrit dans le cadre de la modernisation des transports et du développement de l'axe Johannesburg – Prétoria véritable « Silicon valley » de cette Californie Sud-Africaine.



Figure 2 : Train rapide et confortable



Figure 3 : Station légère et transparente

Plusieurs objectifs stratégiques ont été fixés lors de son élaboration :

- Désengorger les autoroutes N3 et N1, reliant ces deux villes et saturées matin et soir,
- Développer l'axe Sandton - Centurion qui abrite banques et sociétés high tech, IL est situé à mi chemin entre les deux métropoles.
- Instaurer une liaison rapide entre le centre du gouvernement à Pretoria et le centre industriel du pays à Johannesburg, et amorcer des liaisons ferrées rapides entre d'autres cités urbaines,
- Assainir les centres villes de Johannesburg et de Pretoria bouleversés après la fin du régime d'Apartheid,
- Redonner confiance et attirer les investisseurs internationaux pour les grands projets d'infrastructures et d'énergie en Afrique du Sud. Ces projets ont besoin des financements internationaux.

Les études de faisabilité faites directement par la Province du Gauteng ont démarrées au début des années 2000 et ont aboutis à la sélection de 3 alignements possibles pour lesquels 18 mois ont été nécessaires pour effectuer le choix qui est à ce niveau autant politique que technique. Deux contraintes fortes ont façonné le projet :



Figure 4 – Urbanisation autour de Rosebank

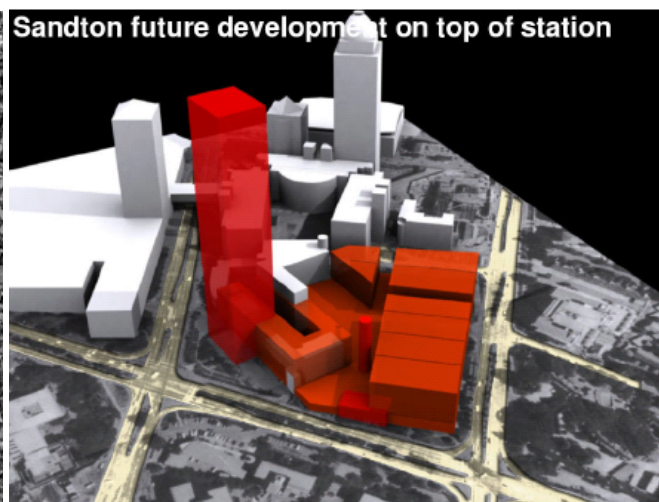


Figure 5 - Développements futurs à Sandton

La première contrainte est liée à la taille de Johannesburg, plus grande métropole de l'Afrique sub-saharienne et englobe l'urbanisation, la taille et la circulation routière. Ces éléments ont imposé une liaison souterraine sur toute la traversée de la ville, et ont fortement contraint les travaux des trois stations, de Park au centre ville et adossée à la station de train historique, de Rosebank dans le quartier résidentiel et calme du nord de la ville et de Sandton dans le quartier des banques modernes

La seconde contrainte est liée à la traversée d'une zone dolomitique à fort risque d'effondrements géants de l'ordre de 15m de diamètre. Depuis les accidents dramatiques qui se sont produits dans les années 60, dans le sud de Johannesburg, suite aux pompages massifs (abaissement de la nappe de plus de 1000m) pour l'extraction des mines d'or, l'ensemble des terrains susceptibles de dissolution ont été répertoriés et évalués en terme de probabilité et gravité du risque de fontis géant et la position de la nappe a été suivie et contrôlée précisément. Le sol est géré et administré par le « Council of Geoscience ». Le tracé a ici été dicté par la position des paléo-sinkholes et la carte souterraine des niveaux de rocher.

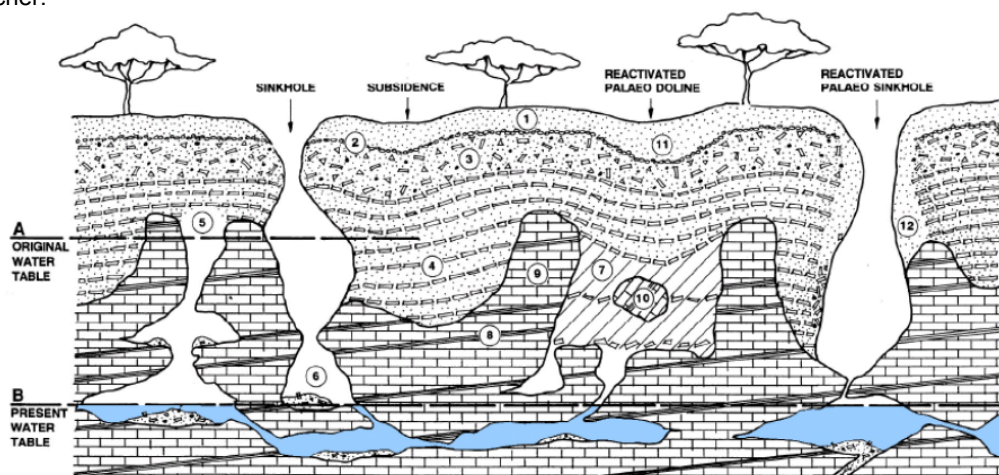


Figure 6 - Coupe type sur zone dolomitique après abaissement du niveau d'eau

Plusieurs autres contraintes ont façonné ce projet exceptionnel ; le coût avec une demande de rentabilité et d'accès aux populations démunies, l'environnement avec des limites draconiennes sur le bruit et les vibrations, sur la gestion de l'eau, le partage des richesses avec une volonté affichée de dépasser les règles de « black empowerment » et la formation du tissu industriel africain pour ce type d'infrastructure, la rapidité de transport qui a imposé une vitesse minimale de 160km/h et des accélérations importantes en sortie de station. Il faut noter que le projet se situant entre 1400 et 2000m d'altitude, cette dernière condition n'est pas sans conséquence, la durée de construction afin de livrer une partie de l'infrastructure pour la coupe du monde de football qui aura lieu à la fin du mois de juin 2010. Ce qui laisse 45 mois aux équipes études, travaux, système et de l'exploitant pour rendre opérationnel le transport de personnes, la traversée de Prétoria jusqu'au quartier étudiant de Hatfield, qui a pu bénéficier d'un tracé en surface car moins dense que Johannesburg, mais qui a subi des contraintes géométriques très fortes à cause du partage de ce corridor avec un réseau existant.

2. LE PROCESSUS D'APPEL D'OFFRE, 30% D'ECONOMIE SUR DES PROPOSITIONS INNOVANTES – BAFO ET FBAFO

La province du Gauteng a lancé l'appel d'offre sur des bases très simple de performances :

- Parcours Johannesburg – Prétoria en moins de 38 minutes,
- Parcours Johannesburg – Aeroport en moins de 15 minutes,
- Maximum 43% de personnes debout aux heures de pointes
- Une vitesse minimale d'exploitation de 180km/h,
- Une capacité de ligne de 15,000 ppsph,
- Une signalisation pouvant accepter des trains toutes les 3 minutes,
- Un confort des passagers lié aux accélérations admissibles,
- Système conçu sur la base de règlements internationaux éprouvés.

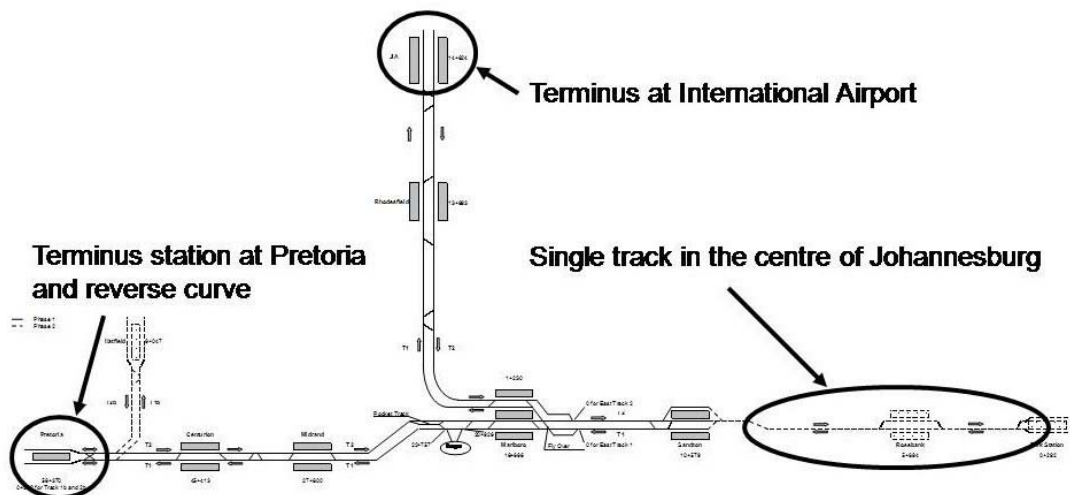


Figure 7 - Schéma ferroviaire du projet

Deux phases d'optimisation de prix ont été nécessaires pour rentrer dans le budget final du client. Au-delà du RFP (Request For Proposal), une phase de value engineering BAFO (Best and Final Offer) suivi d'une phase FBAFO (Further BAFO) ont permis de mettre en valeur les modifications potentielles du projet. Les objectifs principaux du projet ont été comparés pour la recherche d'un meilleur compromis :

- Allongement du temps de parcours à 42 minutes et réduction de la vitesse maximum à 160 km/h,
- Relaxation de la contrainte sur la signalisation par la compatibilité avec le trafic probable,
- Desserte aérienne de l'aéroport, et élimination des traversées souterraines coûteuses,
- Passage à 1 voie alternée dans la section Sandton / Park à trafic plus faible, et réduction significative du coût des tunnels dans Johannesburg,
- Modification de l'alignement souterrain pour réduire l'impact d'une zone de faille au nord de Johannesburg,
- Modification du tracé et élimination des traversées souterraines à l'approche de Pretoria par l'adoption d'un point de rebroussement. La station de Pretoria étant un terminus, elle est fermée sur 3 cotés.

Ces développements ont été fait en étroite collaboration entre les Ingénieurs de génie civil, les Ingénieurs système et les Ingénieurs exploitation. Ils ont permis des économies de l'ordre de 30% ce qui est énorme pour un projet de cet ampleur.

Le développement de l'appel d'offre suivant les 3 phases de négociation a pris plus de temps qu'il était prévu mais a permis de satisfaire les exigences du Client qui sont avant tout basées sur le long terme et le besoin de développement

et d'organisation du pays mais qui doivent aussi satisfaire aux besoins du court terme de coût et de financement. La participation financière du secteur privé est de l'ordre de 12%.

3. LA PHASE DE DÉVELOPPEMENT TECHNIQUE JUSQU'AU CLOSING FINANCIER

Les économies engendrées par les propositions techniques de l'entreprise ont été passées au crible de l'exploitant et du système afin de satisfaire les performances et la sécurité de l'exploitation. C'est une équipe intégrée et positionnée à Johannesburg qui a pris en main le projet et a assuré son intégration et sa coordination.

Train system	Availability	99,5%	25%
	Punctuality	95,0%	15%
	Overcrowding off peak	105%	10%
	Overcrowding at peak	105%	10%
Feeder system	Availability	99,0%	4%
	Punctuality	95,0%	3%
	Bus age < 10 years	98,0%	3%

Figure 8 – Performances d'exploitation à atteindre

Le projet a été découpé en 2 sous projets Nord et Sud avec leurs équipes Etudes et Préparation Travaux, puis ces deux sous projets découpés en 10 lots d'études attribués à des consultants locaux et internationaux. Cela a permis de réduire à taille humaine chaque lot d'études et à marier les compétences locales avec les meilleures expertises mondiales en terme de réseau ferré.

La coordination entre partenaires s'est faite grâce à la cellule TKC. Des réunions hebdomadaires entre les trois partenaires ainsi que des workshops trimestriels ont permis de discuter des interfaces et de proposer des solutions adéquates aux problèmes techniques. Avec dans l'ordre charges et géométries, fonctionnalités des stations, performances des équipements électromécaniques, performances du système en exploitation.

L'organisation des études a suivi le schéma joint :

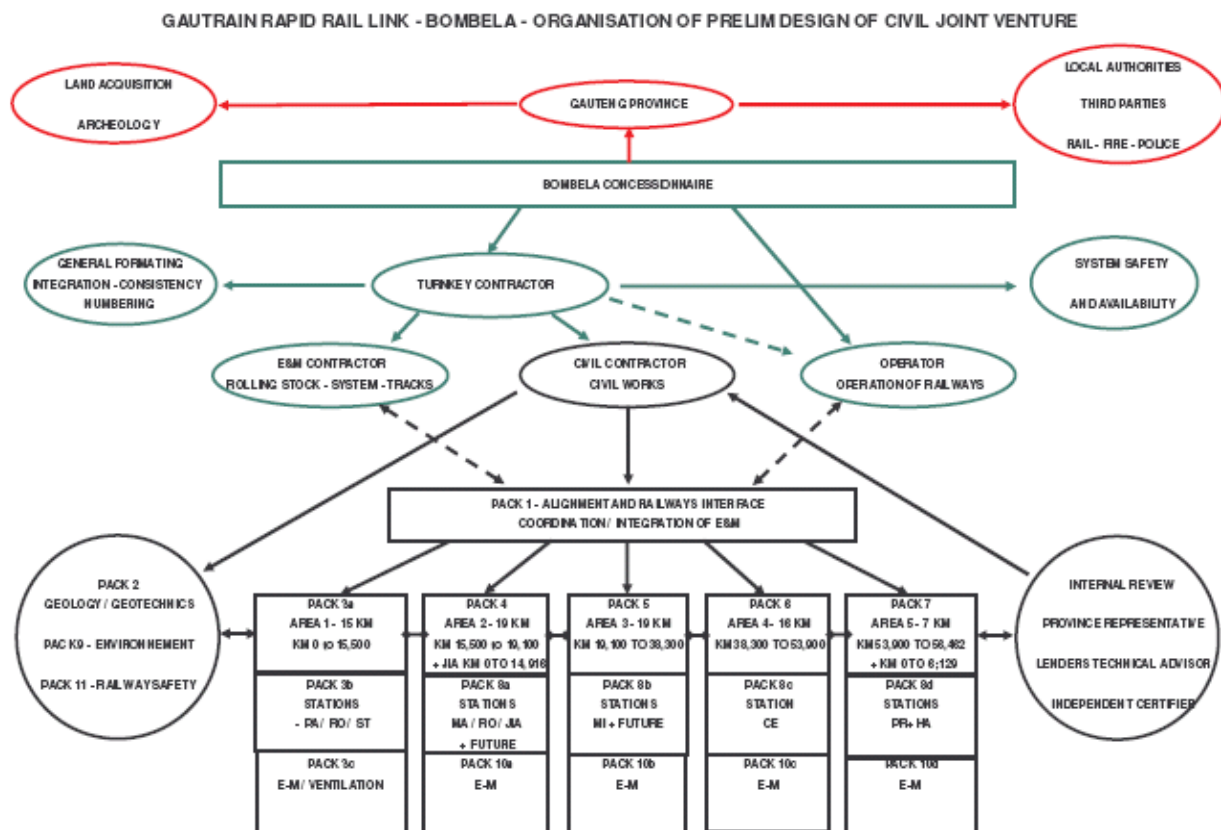


Figure 9 - Schéma d'organisation des études et interfaces TKC / CIVIL / E&M

La coordination avec le Client et les administrations locales s'est effectuée à travers des réunions hebdomadaires et mensuelles avec les intervenants principaux. Le projet a été entièrement synthétisé et présenté au Client pendant le mois de Janvier 2006, permettant ainsi une lecture plus simple des notes et des plans. Les principales administrations (Ville de Johannesburg, Administration des routes et autoroutes, Administration des trains régionaux, Aéroport de Johannesburg, Ville d'Ekhuruleni et de Prétoria, Ministère de l'Eau, Ministère de l'Environnement) ont ainsi validé les dossiers de plans présentant les solutions techniques du projet.

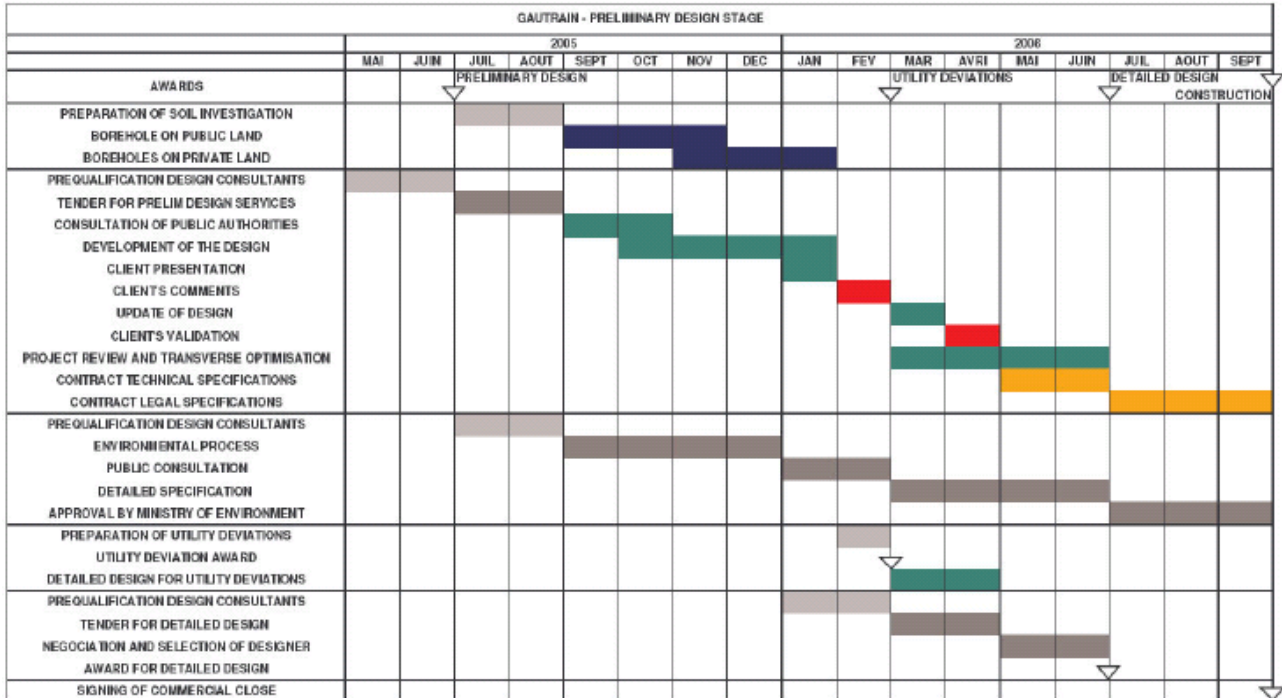


Figure 10 - Planning réalisé des études préliminaires

Enfin la coordination avec les autorités locales de sécurité a été intégrée au lot souterrain qui demande une extrême vigilance sur les problèmes de sécurité et d'exploitation dégradée. Les pompiers des trois agglomérations et la Police ont été associés au Client et au régulateur ferroviaire, pour expliquer, développer et valider le concept de sécurité ferroviaires, les moyens de prévention, de détection, de lutte et de secours, ainsi que les équipements minimum à intégrer au projet, et la formation des équipes.

Ce développement s'est conclu par la visite d'une délégation sud-africaine du Client et du Régulateur à l'Agence Européenne du Rail, la Fédération des Industries Ferroviaires et l'Agence et L'Agence Européenne pour l'Interopérabilité Ferroviaire. Outre les questions relatives au projet, les Autorités Sud-africaines ont pu bénéficier des conseils et de l'expérience Européenne en matière d'exploitation et de développement. Elles ont pu élaborer un plan de coopération à l'échelle Gouvernementale.

4. LES POINTS PARTICULIERS DU PROJET ET LES DIFFICULTÉS TECHNIQUES

Le projet est décrit au travers de quatre points techniques particuliers représentatifs de la difficulté réelle du projet :

4.1 La station caverne à Sandton

La station de Sandton est le point d'orgue du projet avec l'arrivée de la ligne directe de l'aéroport et les connexions vers le centre ville de Johannesburg, de Pretoria et de la ligne Ouest avant l'aéroport. Elle comprend deux quais parallèles et trois voies et son développement s'est inscrit dans la recherche du meilleur compromis entre ; l'architecture intérieure de la station et la circulation verticale des passagers, les intersections de voies de part et d'autre de la station pour l'exploitation normale et dégradée, la géologie et la zone de faille au nord de la station, l'impact du plan masse sur les déviations de routes.

C'est ce dernier élément qui a forcé l'évolution de la station depuis une boîte de 660m de longueur et 25m de profondeur vers deux puits et une station en caverne pour une longueur de 200m et une profondeur de 45m. Ce choix est remarquable quant aux travaux à exécuter et leur planning séquentiel. Il a permis de gagner une année et permettre de bâtir un programme en accord avec le démarrage de la coupe du monde de football.

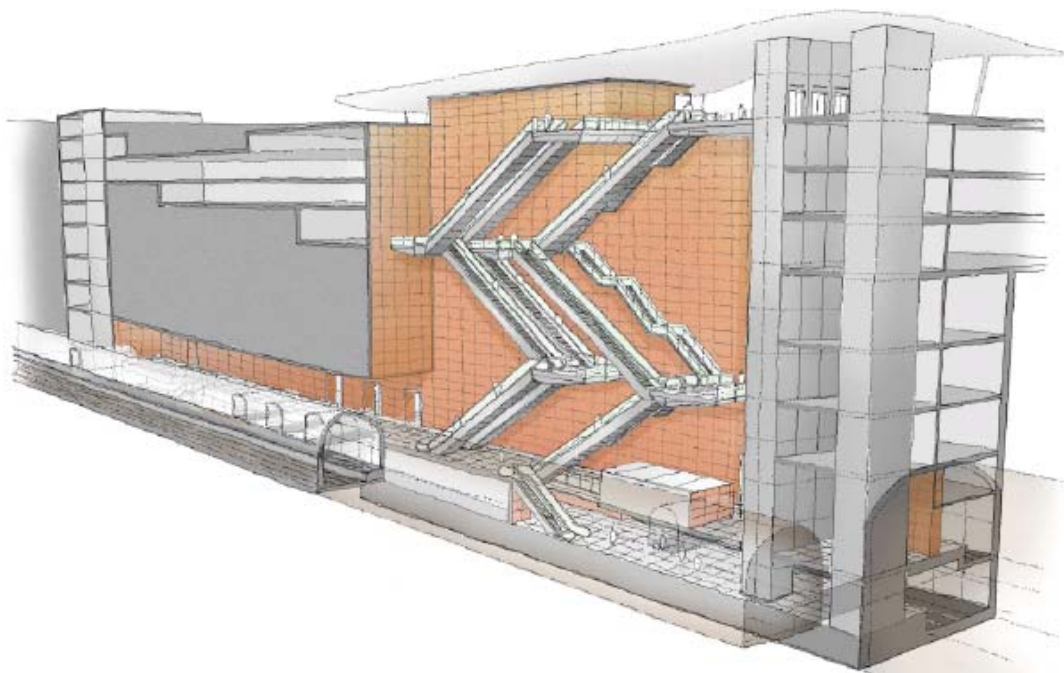


Figure 11 – Perspective de la station souterraine à Sandton avec puits et cavernes

Le trafic autour et dans Johannesburg est très important. Il a imposé de changer la conception et la construction de la station de Sandton d'une excavation à ciel ouvert de 660m de longueur et 25m de profondeur à la construction d'une caverne de 220m de longueur à 45m de profondeur. La nouvelle configuration a permis d'assouplir le programme de construction et le chemin critique du projet.

4.2 La station d'interconnexion à l'aéroport

La station de l'aéroport O.R. Tambo revêt une importance particulière. C'est le premier contact avec le projet pour les touristes et personnalité arrivant à Johannesburg par l'avion. Sa conception a été étroitement développée avec les autorités de l'aéroport et elle s'est bâtie autour de 4 axes forts ;

- accès et sécurité entièrement intégrée dans l'aéroport,
- tracé aérien et traversée des autoroutes de desserte de l'aéroport,
- prise en compte des travaux d'extension et notamment de deux complexes hôteliers dans l'enceinte de l'aéroport,
- possibilité d'extension du projet vers le nouveau terminal en projet.

Le résultat est un ouvrage aérien léger et élégant, montrant une continuité entre les services air et fer.

C'est un atout évident pour promouvoir la liaison rail rapide et intégrer l'aéroport dans le centre névralgique de la ville. Il se rapproche des projets ultramodernes de l'aéroport de Hong Kong.

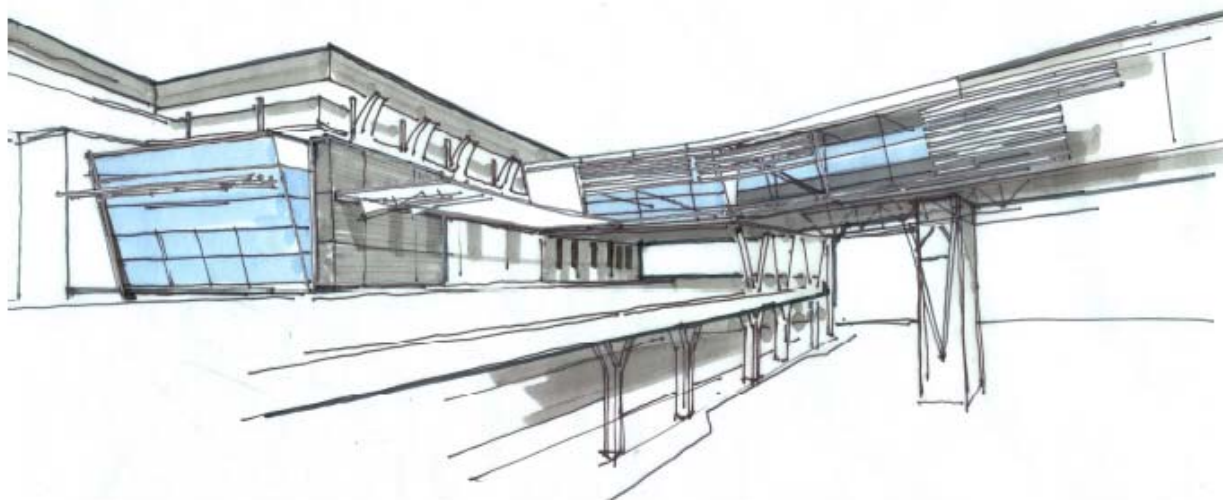


Figure 12 - Perspective de la station ferroviaire intégrée dans l'aéroport international

4.3 Les viaducs et la traversée des dolomites

Le projet comprend 10 km de viaducs ferroviaires dont deux franchissements autoroutiers majeurs, les viaducs de Jean Avenue et de Vorster Avenue. Le développement s'est fait autour des contraintes suivantes ; travail au dessus des autoroutes et sécurité des automobilistes, impact des fondations dans la zone dolomitique, architecture des ouvrages vs matériaux de construction (béton ou mixte), vibration, confort et stabilité de la voie au passage des rames à pleine vitesse.

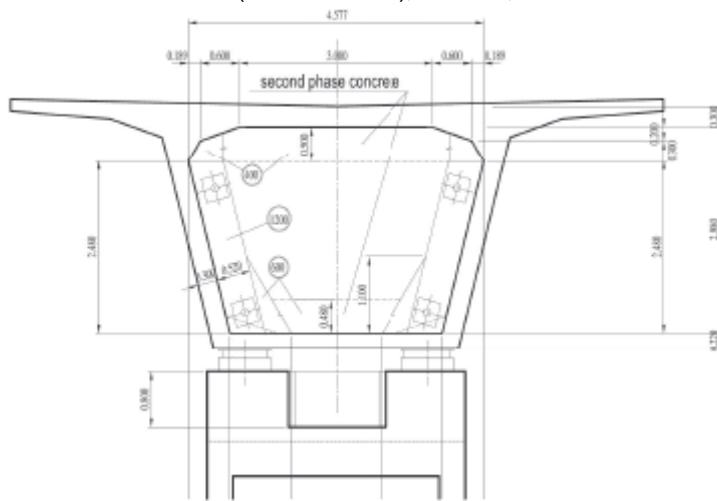


Figure 13 – Coupe type des tabliers



Figure 14 - Viaducs sur Vorster Av

De part la vitesse du train, le biais des franchissements est important et les travées maxima sont de 121 et 110m respectivement. Ces deux viaducs exceptionnels sont en béton précontraint et construits par encorbellements successifs. Les tabliers ont une largeur constante de 10,75m et une hauteur varie de 3,5m pour les travées courante et variable de 3,5 à 7,5m pour les grandes travées de Jean et Vorster. Les contraintes ferroviaires ont été validées suivant l'Eurocode et l'expertise de Mr Calgaro a été fortement apprécié par les Autorités Sud-africaines.

4.4 Les tunnels et ouvrages souterrains

Les 15 km de tunnels représentent le chemin critique du projet et ont demandé une forte mobilisation pendant la phase de développement. La conception s'est faite autour des axes suivants ; le programme de construction pour mettre en service le premier tronçon après 45 mois, le tracé du tunnel et traversée d'une géologie favorable notamment vis-à-vis des failles dans la section à l'explosif et vis-à-vis de la dureté des pics rocheux dans la section au tunnelier, les connections aux stations en fonction de leur évolution en axe et profondeur.

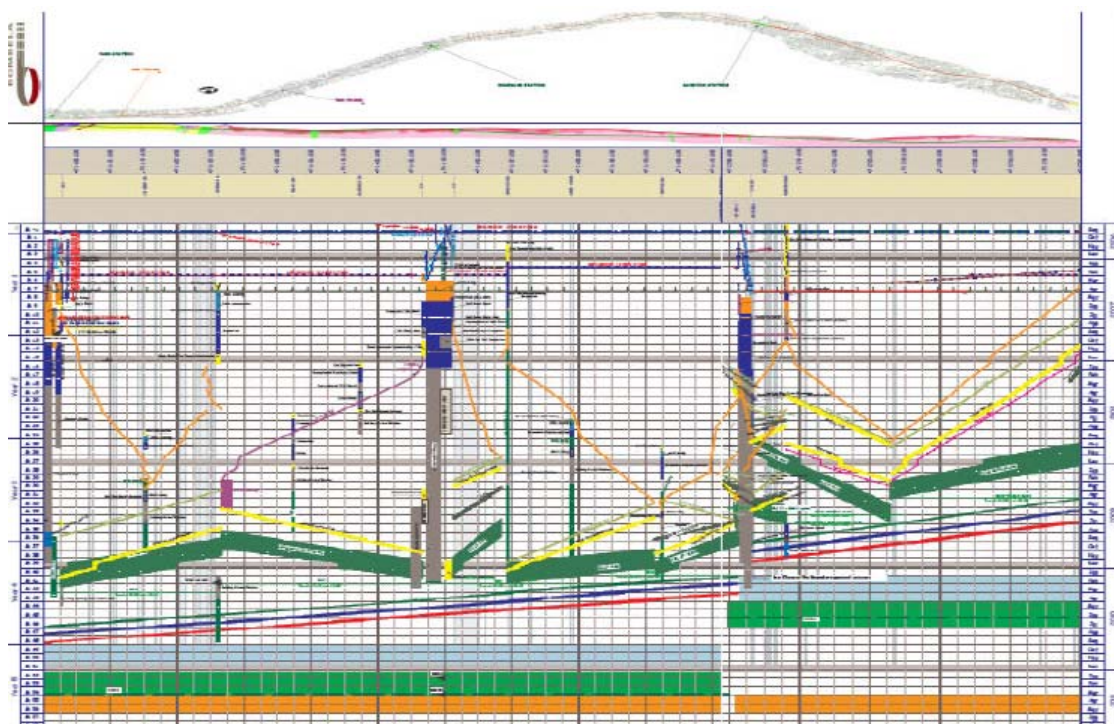


Figure 15 – Programme de construction des travaux souterrains



Ils ont demandé 10 attaques parallèles des travaux depuis le portail, les 3 stations et 7 puits intermédiaires. Les travaux sont titanesques en organisation, logistique et quantités. De plus, ils s'intègrent dans un plan de protection environnementale stricte qui demande des précautions relatives au bruit et à la protection de la nappe mais aussi au circuit des camions d'approvisionnement et de décharge des matériaux. La recherche de la meilleure solution s'est faite en étroite collaboration avec la ville de Johannesburg.

5. CONCLUSIONS ET ENSEIGNEMENTS SUR LES INTERFACES ET LA COORDINATION

La cellule TKC a permis de garantir l'intégration entre les partenaires civil, système et exploitation. En étant indépendantes des organisations respectives, elle a pu anticiper les difficultés, dépassionner les débats et proposer des solutions intelligentes grâce à une connaissance pluridisciplinaire et une mobilisation très en amont pendant le développement. C'est la clef de ce type de projets où les programmes tendus, les administrations exigeantes et les intérêts financiers compliquent fortement la résolution rapide des problèmes d'interface. Plusieurs enseignements sont apparus :

Les séminaires trimestriels entre génie civil et système ont permis de passer du temps sur les détails techniques relatifs à des métiers différents, de filtrer la grande majorité des interfaces, de développer un partenariat entre les personnes et de tester les solutions acceptables.

Les contraintes de bruits et vibration sont sévères et dépendent de l'environnement et du tracé choisi. Elles dérivent de paramètres liés au matériel roulant, à la voie et à la structure qui ne sont pas connus au démarrage du projet. Elles bénéficient d'un traitement commun afin d'arriver à une solution optimum en coût, délais et maintenance.

Les contrats avec l'Autorité du Client sont lourds et longs à négocier. Il y a donc intérêt à prévoir des contrats partiels pour démarrer tous les travaux sur le chemin critique et ne pas engager la date de mise en service. Ainsi sur le projet Gautrain, l'anticipation des études préliminaires, des études d'exécution et des déviations de réseaux et de routes ont permis de gagner un temps précieux et de satisfaire la contrainte de la coupe du monde de football qu'il est difficile de modifier.

La sécurité des installations contre l'intrusion, le vol, les dégradations est très importante à l'exploitant. Les propositions font intervenir les systèmes de contrôle, les barrières de sécurité, le réseau des caméras, le personnel exploitant et la robustesse des installations. C'est une interface difficile à résoudre sinon par une entité indépendante.

6. LES PARTENAIRES ÉTUDES DU PROJET

La liste des partenaires et consultants études reflète la taille, la multidisciplinarité et la complexité du projet. Elle fait appel à des compétences multiples, expertes et internationales dans un concert nouveau de développement de projet.

- Afrique du Sud – Africon, Asch, Iliso, HHO, Ingerop South Africa, Ninham Shand, SNA, Ages, Dr Wagener, Dr Oosthuizen, March, Geopractica, CA Du Toit, Felehetsa, ITS
- France – Bouygues BETP, Scetauroute, Ingerop International, Systra, Terrasol, IPC Mr Calgaro.
- Angleterre – Arup, Atkins, GCG, Prof Waltham, Pascall et Watson,
- Suisse – Bonnard et Gardel,
- Hong Kong – Arup Hong Kong, Atkins Hong Kong.
- USA – Parsons Brickerhoff

7. LES QUANTITÉS PRINCIPALES

- | | |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| • Excavation section souterraine | 1,40 millions de m ³ |
| • Mouvement de terres | 6,30 millions de m ³ |
| • Béton de structure | 440,000 m ³ |
| • Acier | 50,000 T |
| • Passages inférieurs et supérieurs | 62 |
| • Fondations | 37,000ml |
| • Tablier | 100,000m ² |

8. CONCLUSIONS

Il aura fallu 5 ans pour lancer l'appel d'offre et sélectionner le Concessionnaire, 1 an pour obtenir l'accord commercial et 5 ans pour construire, équiper, tester et ouvrir l'ensemble de la ligne aux passagers.

Dans le cadre de projet complexe comme Gautrain, le développement technique est une véritable course contre le temps, qui met en valeur des objectifs du Client exprimés de façon simple et clair, la concurrence entre les idées et l'expertise de construction des groupements d'Entreprises, une intégration rigoureuse avec les autorités du Pays et des objectifs communs entre les partenaires.

Remerciements : Les auteurs remercient la Province du Gauteng et le Concessionnaire Bombela pour l'accord donné à la publication de cet article. Les opinions et les idées exprimées reflètent uniquement les auteurs et n'engagent ni la Province ni le Concessionnaire.