Les tunnels sous mer

T1, l'exploit !

PREMIER tunnelier arrivé sur le chantier fin janvier 1988 « Brigitte » allias le T1, prototype des prototypes a eu un démarrage difficile et une arrivée Triomphante.

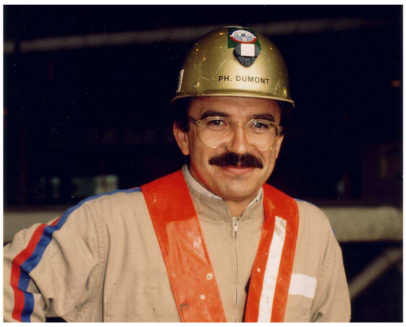
Construit à Seattle (USA) par ROBBINS le tunnelier est arrivé au port de Calais le 28 janvier 1988 où il était attendu par tous les responsables de la Construction France et par la population Calaisienne curieuse et pleine d'espoir. Le Bouclier complet muni de sa roue de coupe formant un premier ensemble de 400 T était descendu le soir même au fond du puits. Un mois plus tard le 28 février le T1 donnait sont premier tour de roue. Quatre mois plus tard lorsque Philippe Dumont a pris en main le chantier du tunnel de service sous mer, il n'avait pas creusé trois cent mètres.

L'angoisse maximum

En juin 1988, Philippe Dumont est muté au T1. Ancien élève de l'école des Arts et Métiers de Lille et venant du groupe Bouygues, il nous conte son épopée : *« Malgré de longues mises au point, la machine n'avançait pas. La tension montait, à l'intérieur, à l'extérieur. L'angoisse maximum! On a commencé à respirer début 1989, après un troisième long arrêt technique en janvier où, une fois de plus, on a démonté, rebranché, ressoudé, remonté... »*
"La machine était de conception robuste et bien étudiée. Mais, par la défaillance d'un sous-traitant, il lui a manqué deux mois de mise au point en usine. Deux mois qu'on a eu du mal à rattraper. »

II a fallu revoir les assemblages, le cablage électrique, les circuits hydrauliques, retailler le train suiveur, renforcer et remplacer la vis...
Elle a quand même fini par décoller...

« Nous avons passé des jours et des nuits à l'entendre craquer, vibrer, à ne pas *comprendre.* A *ne* pas comprendre même, parfois, pourquoi elle redémarrait !



Quand les pilotes ont senti la machine

« Au départ, personne ne savait trop comment piloter un tel engin. J'ai commencé à sortir des procédures de travail. Avec ordre au pilote de faire comme cela et pas autrement. Ça ne marchait pas. Alors j'ai pondu d'autres procédures. La machine partait à droite, à gauche, en haut, en bas…

Un jour j'ai dit aux gars : " Débrouillez-vous, il faut qu'elle aille droit". A partir de ce jour-là, la machine est allée droit. Les pilotes l'ont sentie, prise en main, ils ont trouvé les petits trucs... Tout le travail réalisé auparavant a servi, bien sûr, mais ce sont les gars qui l'ont fait avancer. Une leçon que je n'oublierai pas. »

La formation sur le tas

Tout cela avec cinq équipes différentes qui se succèdent aux mêmes postes ? *« C'est finalement le plus difficile. Le savoir-faire, l'expérience d'une équipe ne passent pas à l'autre spontanément, la compétition est permanente... Alors, pendant un an et demi, je me suis astreint à voir les équipes tous les jours... Un véritable sacerdoce. Surtout quand les gens remontaient complètement découragés : ils venaient de passer un poste complet à pomper, ils n'avaient pas avancé d'un seul anneau et i! fallait leur dire et redire : " On va y arriver ". Et les électriciens, les mécaniciens, les informaticiens, les automaticiens... tout le monde redescendait dans la boue. » Pendant ce temps, les Anglais avançaient ? " lis en étaient au septième kilomètre et nous toujours au premier. lis creusaient en terrain sec, souffraient de la poussière et nous, nous écopions deux mètres d'eau à l'avant du tunnelier, des plongeurs allaient nettoyer les crépines des pompes en apnée! "Du moins, toutes ces difficultés ont-elles contribué à souder les équipes ? « Oui, avec des électriciens, des boulangers, des charcutiers … formés et aguerris sur le tas, qui tous, se sont pris au jeu, vraiment. A part 3 ou 5 % de gens qui ont été éliminés. Par nous, par eux-mêmes ou par l'équipe. Un gars qui ne fait pas son boulot est vite rejeté. Inversement, quelle solidarité ! Un peu comme dans !es mines. L'effet du confinement, sans doute, »*

La surface au rythme du fond

Quand on réalise des exploits au fond, le retour à l'air libre n'est-il pas parfois un peu difficile? *« Oh que si! 11 a fallu apprendre à vivre avec ce décalage fond / surface. Nous travaillions comme des fous et avions envie de cogner quand ça ne suivait pas dans les ateliers II a fallu apprendre à composer. A la longue, les équipes du puits et de !a surface se sont mises au rythme des tunneliers. »*

L'esprit d'entreprise a prévalu et ça a fonctionné.

Avec le démarrage des autres tunneliers, l'agressivité des Anglais, l'émulation a joué. Le PK 5,0 est franchi le 3 octobre 89 et les records succèdent aux records

Meilleure semaine fin Mai 90 avec 292,60 m.

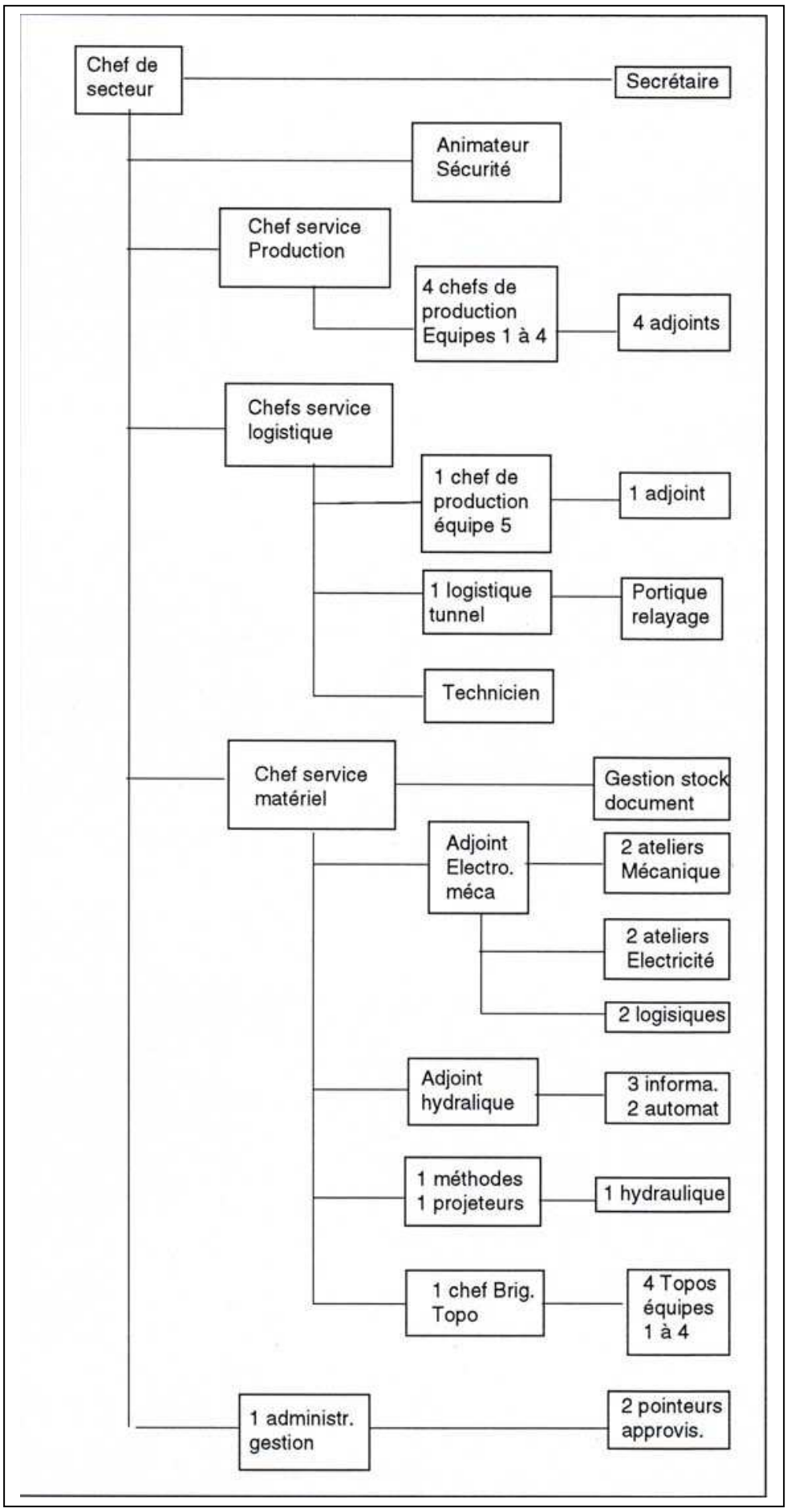
Meilleur mois en Mai également avec 1032,30 m et sa meilleure performance 1062,20 m en 30 jours. II arrive finalement le 31 octobre 1990 au PM 15617,70. Mais le percement, la chute du mur de craie et la poignée de main historique a eu lieu le 1er Décembre.

Alors, cette jonction du ter décembre 1990: une apothéose ? *« Un moment fort, sans aucun doute. Comme, un peu plus tard, la pose du dernier anneau. Mais l'émotion la plus intense, je l'ai sans doute ressentie un mois plus tôt. Les deux tunneliers étaient arrêtés à cent mètres l'un de l'autre. Un sondage devait vérifier s'ils étaient bien face à face. Quand j'ai vu l'outil anglais déboucher dans !a tête, au bon endroit ça a été grandiose ! »*

- **Un service matériel** qui assure la maintenance du tunnelier, de son train et de tout le matériel mis en place par le service logistique. II dispose d'un atelier spécifique en surface.
- **Une brigade Topo,** hiérarchiquement rattachée au service Topographique du secteur technique.
- **Un ensemble de services fonctionnels** qui possède une cellule administration gestion, une cellule technique et un animateur sécurité.

La plupart des service fonctionnent sur 5 équipes.
L'organigramme ci-contre en donne le détail

ORGANIGRAMME DU SECTEUR T1



Les équipes du T1

Le secteur du T1 a été un ensemble de travaux "phare". A ce titre il a fait l'objet de précaution particulières de la part des Topographes et de soins attentifs par les services chargés de la logistique et le maintenance.

Comme tous les secteurs travaux tunnels, le T1 a une organisation qui lui permet d'avoir une certaine autonomie et par voie de conséquence des responsabilités étendues.

Placé sous l'autorité de Philippe Dumont chef de secteur, il comprend :

- **Un service production** chargé des travaux de creusement et de revêtement du tunnel.
- **Un service logistique** responsable de l'équipement du tunnel et des approvisionnements.

Il faut remarquer que ce secteur n'a pas pris de responsabilités au niveau des ouvrages spéciaux sinon celle consistant à mettre en place au droit de chaque rameau, les voussoirs fonte devant faciliter le percement de ces rameaux exécutés à partir des tunnels ferroviaires.

L'effectif de main d'oeuvre horaire est quant à lui resté quasiment stable jusqu'au percement variant de 271 à 279 ouvriers en passant par une pointe à 301 en cours de l'année 1990 du fait de l'allongement du tunnel et de la distance de transport.

Le tableau ci-contre en montre la répartition suivant les quatre postes de production et le cinquième poste dit de maintenance.

Fonction	poste 1 à 4	poste 5	Total
Conducteur bouclier	4	1	5
Erecteur 1CE + 4 oper.	20	3	23
Injection, bourrage 1CE + 4 oper.	20	5	25
Pose rails, manut. 1CE + 2 oper.	12	-	12
Back up 1CE + 5 oper.	24	5	29
Déchargement 1CE + 3 oper.	16	3	19
Roulage 1CE + 10 tract.	44	10	54
Logistique 1CE + 8 oper.	36	9	45
Relayage 1CE + 5 oper.	18(1)	-	18
Nettoyage 1CE + 4 oper.	20	-	20
Matériel fond 1CE + 4 El/Mec	20	20	40
Matériel atelier 1CE + 10	-	11	11
Total	234	67	301
Total par poste (1) poste 1,2 et 3	60		
postes 4 et 5	54	67	

Entretien du secteur T1

Main d'oeuvre	77 300 h
Coût des rechanges	
- Tunnelier	54 MF
- Autres matériels	21,6 MF
Monitorat T1	14,6 MF

La maintenance du secteur

Le service matériel du T1 a la charge de l'entretien et de la maintenance de l'ensemble du matériel du tunnel depuis la tête du tunnelier jusqu'à l'entrée des gares du puits.

Les électromécaniciens affectés à chaque poste de production relèvent également de la responsabilité du chef du service matériel auquel ils doivent rendre compte.

La maintenance et le grand entretien sont assurés par une équipe spécialisée formant un cinquième poste imbriqué dans le cycle tournant des quatre postes de production. Comme nous l'avons vu pour le puits, le cycle est de 9 jours (6+3). L'entretien est effectué en trois postes de huit heures répartis en trois jours et pendant l'arrêt mensuel de la production. Cet arrêt a lieu tous les 27 jours où, pendant quatre postes, l'ensemble des tunneliers arrête sa progression.

L'atelier de surface fonctionne également en régime 6+3 mais au seul poste de jour.

Enfin, le constructeur du tunnelier ROBBINS assure, suivant les clauses de son contrat avec TML une assistance technique rétribuée ou "Monitorat", au moyen de 4 à 5 techniciens de haut niveau mis à disposition pour la durée du chantier c'est-à-dire depuis le montage du tunnelier au fond du puits jusqu'au percement et à la jonction avec le tunnelier britannique.

Cet effectif maximum de 44 personnes s'est maintenu jusqu'en février 1990. Il s'est progressivement réduit à 37 d'avril à août puis à 26 au moment de la jonction.

Cette réduction d'effectif s'est opérée en Avril par suppression des postes de technicien informatique et opérateurs MAO, projeteur, chef de brigade Topo, électricien, logistique, puis en septembre par celle des postes d'adjoint aux différents chefs de service et chefs de poste.

Les équipes du T1

T2 & T3

« Nous revenions sans cesse au contrat. C'était mon livre de chevet. Mais chacun trouve ce qu'il veut dans son contrat... Conclusion: il faut négocier en position de force avec les Japonnais, être exigeant sur ses droits, les faire valoir continuellement. "

"Il reste que pour eux le client doit toujours être satisfait et le produit parfait. Ils tireront sans doute un grand profit de !'expérience accumulée sur le Transmanche. Tout au long du chantier, ils ont décortiqué chaque difficulté avec une opiniâtreté jamais démentie."

DE l'extrème occident à l'extrème orient ; les tunneliers des tunnels ferroviaires sous mer sont construits par le consortium ROBBINS - KAWASAKI - FCB à Kobé au Japon, puis équipés de leur train suiveur à Dunkerque avant d'atteindre le puits de Sangatte.

C'est Jean Pierre Vigouroux chef de Secteur du T2 qui a réceptionné "son" tunnelier le 27 juillet 1988 mais c'est Lionel Suquet futur "patron". du T3 qui a suivi la fabrication de bout en bout des deux machines.

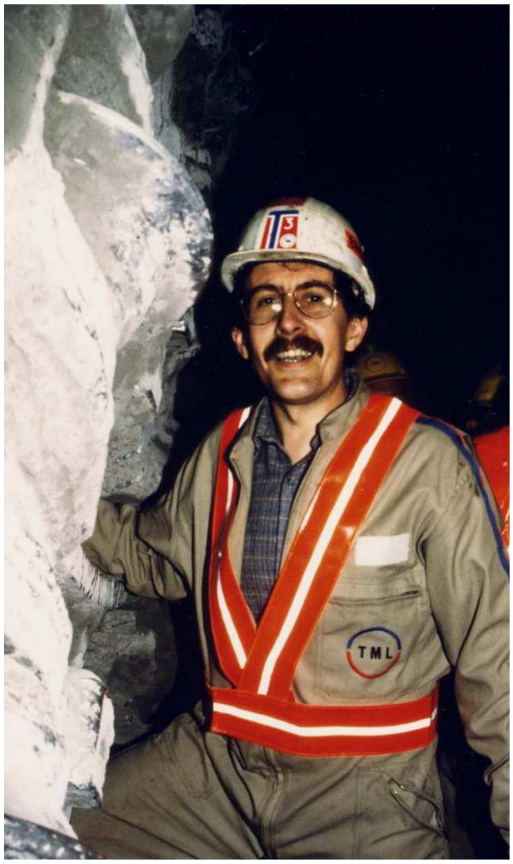
Cet ingénieur de 33 ans diplômé de l'ENISE (Ecole nationale d'Ingénieur de Saint-Etienne) est envoyé début 1988 pour 6 mois au japon à cet effet.

Jean-Pierre Vigouroux

Les japonnais ne disent jamais non

TML avait dressé un cahier des charges très exigeant à faire respecter dans un délai follement court. *"Mon rôle",* dit *Lionel Suquet* , était de tirer la sonnette d'alarme en cas de dérapage et de faire prévaloir les préoccupations pratiques du futur exploitant. *« Les modifications imposées par Transmanche Construction irritent les japonais et perturbent leurs certitudes technologiques".* Malgré leurs réticences nous avons pu simplifier la machine et la rendre plus commode en supprimant un érecteur, un arrondisseur, en imposant des escaliers pour remplacer les échelles et améliorer la sécurité.

"Quelles impressions ai-je tiré de mon séjour dans une entreprise japonaise ? L'atelier au sol peint propre, clair tellement différent de ce que j'ai pu voir ailleurs ! Les bureaux où l'organisation de l'espace traduit si radicalement la hiérarchie. Et le souci de tous de satisfaire le client, roi absolu".



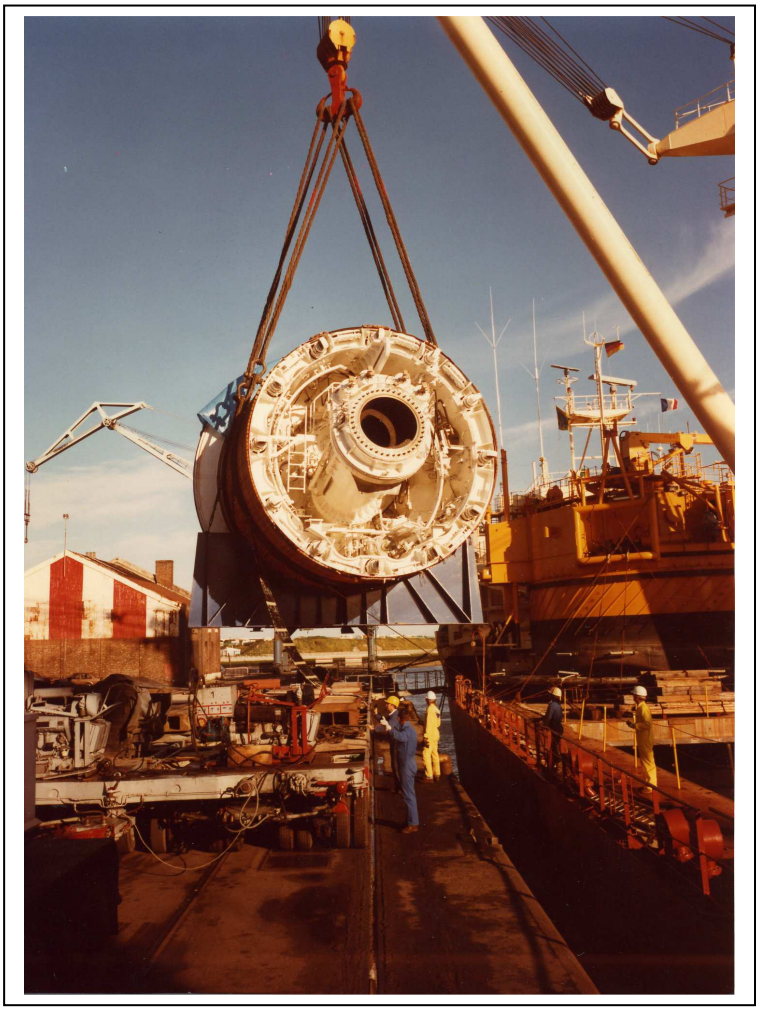
Pour le représentant du client, la partie est donc facile ? *"Tout le monde était aux petits soins, le café était servi ! J'avais un immense bureau pour moi tout seul... Mais fort éloigné du bureau d'études où je n'étais guère convié. Il a fallu grignoter le terrain pour approcher les planches à dessin, consulter les plans, les obtenir enfin, avec toutes les cotes si possible...*

"On ne me répondait jamais non. Au japon, on ne dit pas non à un client. "Nous prenons bonne note de votre question. Nous allons y réfléchir. Nous en rediscuterons". Mais si vous ne relancez pas vous même la discussion... "

Lionel Suquet

LE T2 , UNE BÊTE A DOMESTIQUER

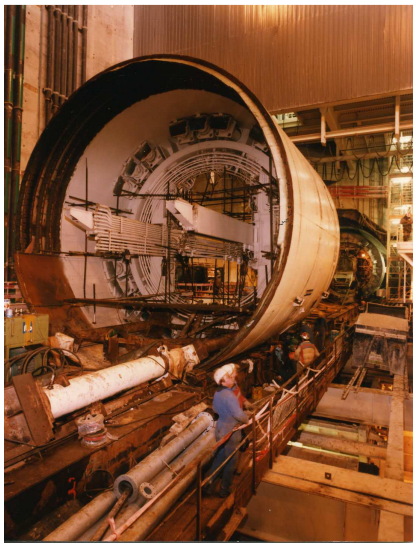
" *Parachevé dans les ateliers FCB (Fives-Cail-Babcock) à Dunkerque, le T2 arrive à Sangatte en Septembre 89. Le 8 Décembre ce sont les premier tours de roues. Haute comme un immeuble de trois étages, la "bête" impressionnante n'en est pas moins fragile. Le démarrage est lent et les mises au point difficiles. L'expérience du T1 ne sert qu'en partie, ici les forces enjeu sont énormes et sous la poussée des vérins la machine craque. Le premier kilomètre est atteint cinq mois plus tard le 10 Mai 1989. Mais le 22 Mai au matin...*



Débarquement du tunnelier à Dunkerque

"Jusqu'au bout nous avons modifié la machine"

"11 y avait un colmatage" dit Jean Pierre Vigouroux". Une voûte se créait au dessus de !a vis d'extraction et elle empêchait les matériaux d'arriver jusqu'à la vis. En vérifiant !es molettes de la tête de coupe, on a constaté qu'il y avait une fissure dans la poutre principale de la tête. Puis on a inspecté toute la tête. On a alors découvert que tout était cassé, les points de liaison entre les bras, les points de liaison entre les bras et le coeur de la tête. 11 y avait des fissures partout. Nous avions enfoncé la tête de 5 à 10 cm dans le bouclier avant. Inutile de vous dire notre déception et notre abattement. Eh bien ! On a relevé le pari. On a renforcé tout le coeur de la tête en fermant des fenêtres. La réparation a duré 46 jours pendant lesquels on n'a pas avancé d'un millimètre".



Montage du tunnelier au fond du puits

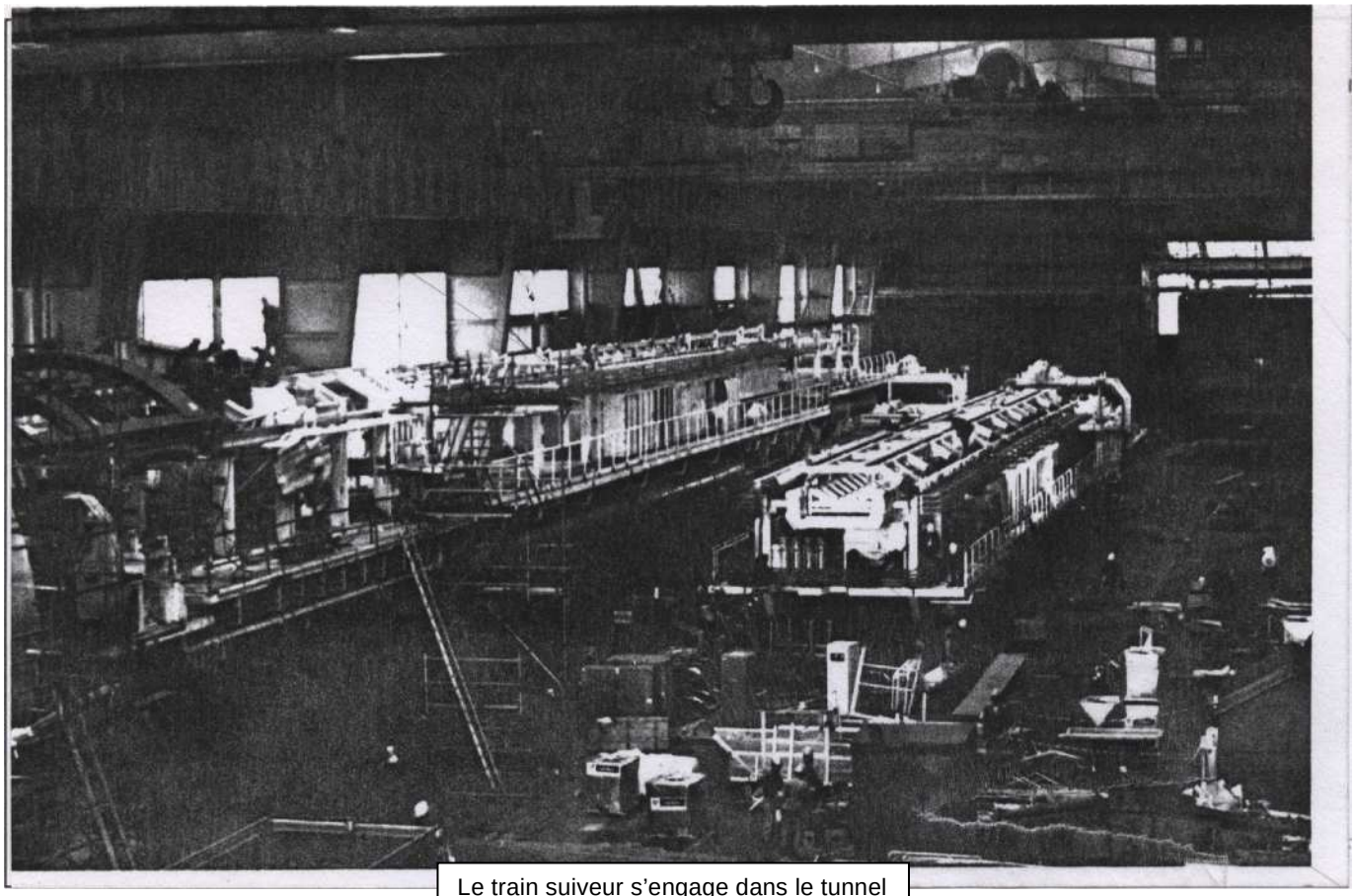
« Cette pièce principale ne fût pas la seule à connaître d'importantes transformations. Ce fût le cas du convoyeur aveugle, du convoyeur principal, du démarrage des tapis, du lavage, des outils de coupe, des automates. "Bref" conclu Jean Pierre Vigouroux jusqu'au bout nous avons modifié la machine".

20 000 mètres sous la mer

« La progressions a repris le 3 juillet avec des équipes soudées et solidaires. 'Au début on a fait des journées de 14 et 15 heures pour faire marcher la machine 'précise Alain Pina Chef de poste sur le T2. "J'ai beaucoup appris sur le plan humain. Ici pas de barrière. On peut discutera avec un directeur comme avec un ouvrier, vous savez, quand on voit son chef montrer l'exemple les pieds dans l'eau on y va commente Jorge Goncalves, automaticien.

Le kilomètre 3 est atteint le 26 octobre avec 500 mètres/mois. Puis c'est l'accélération 640 mètres en décembre - le PK 5 est passé le 24 janvier 1990 - et ce sont : 800 m, 900 m, 1000 mètres/ mois. Les records tombent malgré le passage de deux failles impressionnantes.

"Quand on a passé dans la faille au PK 8,8 "rapporte Daniel Delabre, automaticien chargé de la maintenance, *"Il y avait une pression de 9 bars sur la tête du tunnelier ce qui signifie une poussée de 5400 tonnes. Le carreau du projecteur a cassé et l'eau est entrée en force, il y avait une fissure de 30 centimètres. Nous avons cru que le tunnelier pliait. Nous étions blancs. Nous avions peur d'être stoppés". Les joints ont tenu, le tunnelier est passé. Il n'a réalisé qu'un peu moins de 800 m ce mois-!à (Mai 90) mais c'est de nouveau 1003 mètres en Juin, le*



Le train suiveur s'engage dans le tunnel

record mensuel en Mars 1991 avec 1106 mètres et les meilleurs 30 jours avec 1124 m."

Ils voulaient aller au kilomètre 20. Les hommes du T2 y sont parvenus dans un esprit remarquable et sans accident grave. Leur seul regret c'est de n'avoir pu faire mieux, la machine n'a tourné pensent-ils qu'à 70 % de sa capacité. 14 ou 15 anneaux par poste ce sera pour leur prochain tunnel

Au bureau, dernières instructions pour le montage du tunnelier

Les chiffres du T2

Longueur du tunnelier	: 260 m
Distance creusée	: 20009 m
Volume excavé	: 1211 474 m^3
Durée totale	: 911 jours
Jours d'arrêt	:130 jours
Heures travaillées	: 1 233 000 h
Mortier de bourrage	: 118170 m^3
Voussoirs posés	: 74634 unités
Rails posés	: 119390 m
Câbles posés	: 217950 m
Tuyaux posés	: 99070 m
Aiguillages en tunnels	: 86 unités

Les chiffres du T3

Longueur du tunnelier	260 m
Distance creusée	18860 m
Volume excavé	1142300 m^3
Durée totale	825 jours
Jours d'arrêt	83 jours
Heures travaillées	1167500 h
Mortier de bourrage	110250 m^3
Voussoirs posés	70350 unités
Rails posés	112600 m
Câbles posés	205560 m
Tuyaux posés	93500 m
Aiguillages en tunnel	80 unités

T3 formule 1

"Catherine" une championne

Quand le T3 arrive à Sangatte, le train suiveur du T2 occupe encore le fond du puits. La veille de Noël 1988 la tête du T2 n'est qu'au PM 125.

Le 28 Mars 1989 c'est le baptême *"Catherine ",* c'est son nom, mord dans la craie dès le lendemain.

Le T2 alors du PK 500 n'a pas encore montré ses défaillances. Lorsqu'elles surviennent, le train suiveur du T3 est encore visible du fond de la gare.

L'avancée est lente et l'on profite de l'expérience de sa soeur aînée "Europa" pour redonner à *"Catherine"* une santé solide. Lionel Suquet chef de production du T3, qui les connaît bien est attentif à toutes les opérations.

Le premier kilomètre est atteint au bout de six mois, le cinquième au bout d'un an. En mai 1990 -victoire! - le T3 est le premier tunnelier français à atteindre les mille mètres en un mois.

"Puis en juillet, c'est la faille du kilomètre 8 . La cataracte. 40 litres d'eau à la seconde. Des chapes de vérins d'articulation arrachées. Un mètre de boue dans le tunnelier. Le mortier d'injection qui bloque la jupe. Une pression hydrostatique de 9 bars... Ce mois là, nous n'avons fait que 360 mètres."

Passé le kilomètre 10, la cadence remonte Record : 1 177 mètres en mai 1991. En vingt-sept mois de course contre la montre, le T3 fore 18 860 mètres et termine avec un record à 322 m pour son avant dernière semaine. Une véritable formule 1.

Le moment le plus fort de ce parcours de dix-neuf kilomètres sous mer ? " *Le tout premier tour de roue. La vis qui commence à cracher la craie ! Quatre heures du matin. Pas grand monde. L'émotion à son comble...* "

Le souvenir le plus pénible ?
« L'enchevêtrement de ferrailles quand un après-midi d'octobre 1988, un convoi fou a dérivé sur plus d'un kilomètre, du puits jusqu'au tunnelier.
Deux trains télescopés, une remorque bousillée. Une chance inouie, pas un blessé grave ; mais trois jours d'arrêt pour le chantier !"

Match nul

La compétition avec les Anglais ? *"Réelle, mais amicale, commente Lionel Suquet. Dès le baptême, nous avons invité nos collègues britanniques. Puis ils sont venus pour la saint Barbe, etc. Vingt-cinq cadres sont allés sur leur chantier et réciproquement. Bref : l'entente cordiale, ce qui n'a pas été fréquent...*

"A tel point que, pour la jonction, mon homologue Dave Ingle et moi avons échafaudé un projet qui aurait satisfait tout le monde: eux faisaient plonger leur machine en France et nous, nous allions arrêter la nôtre en Angleterre. Il nous aurait suffi de quatre cent mètres de plus et de quinze jours..

. A l'échelon supérieur, les arbitrages n'ont, hélas, pas été dans ce sens. Pourtant, après le T1 arrêté en France et le T2 en GrandeBretagne, un match nul, ça aurait été "fair play".

T3 à l'usage

SI c'était à refaire ? On ne creuse pas le même ouvrage, dans le même matériau, sur cette longueur, avec le même tunnelier. N'empêche, il est toujours intéressant de tirer les leçons de l'histoire. C'est ce qu'a fait Lionel Suquet, responsable du T3 qui passe une revue de détail du tunnelier. Toutes les remarques sont aussi applicables au T2.

Avec ses 11 800 heures de fonctionnement, la roue de coupe du T3 a tourné une heure par anneau.

• **Les molettes** ont connu une durée de vie de 2 000 à 11 000 "anneaux" (3 000 en moyenne), sauf les bidisques centraux qu'il a fallu changer tous les 1500 anneaux et les molettes de la couronne périphérique, tous les 1 300. *« Mais nous aurions presque pu nous en passer"* estime paradoxalement le patron du T3, *"car nous n'avons changé aucun pic. Les uns devaient venir en renfort des autres en cas de terrain très dur. Manifestement, cela n'a pas été le cas. »*

• **La tête télescopique** qui permettait de passer, en terrain sec, du "mode fermé " au " mode ouvert " : *« Elle a procuré un certain confort d'utilisation, mais c'est tout. Je le dis d'autant plus volontiers que nous sommes les seuls à 'lavoir utilisée comme prévu pendant toute la durée du chantier. Or elle a coûté cher et compliqué la machine. Nous avons donc vraisemblablement assisté à une première et à une dernière ! »*

Un bouchon dans la vis difficile à maîtriser

• **La vis** *: « Bien pilotée, elle s'est révélée fiable et n'a jamais arrêté la production. »* Mais le système double-vis-bouchon n'a pas fonctionné durablement sous dix bars de pression hydrostatique. Il a d'abord fallu faire chuter la pression à deux ou trois bars, en laissant entrer l'eau et en pompant. Ne donnant qu'une valeur approximative, les capteurs de pression ont en outre rendu difficile l'appréciation de la compacité du bouchon.

« Un système de vis plus simple (du type de celui qui a fonctionné sur le T5) aurait peut être été préférable. A privilégier en tout cas : la fiabilité et la précision des capteurs de pression. »

• **Le convoyeur à déblais**, *ou plutôt « la cascade des convoyeurs: cinq engins, cinq possibilités de pannes: 29% du total des arrêts leur sont dus L'un avait une pente de quinze degrés, trop importante, l'autre était difficile d'accès pour la maintenance. Avec le taux d'humidité très élevé (95 %), il y a eu des problèmes d'isolation des moteurs, de tenue du collage des bandes, etc.*

« Le remplissage automatique des berlines par pesage n'a jamais fonctionné malgré nos multiples essais tout au long du chantier. Il a fallu commander à vue, dans une posture mal commode pour l'opérateur. Un point à améliorer, sans aucun doute. »

Remorque N°1 – pose des voies

Dix sept minutes par anneau

• **L'érecteur** : le système hydraulique, d'accès difficile, a totalisé 12 % des pannes du tunnelier, le système électrique, très sollicité dans ce milieu humide, 33 % ! L'étanchéité améliorée a permis de ramener le taux de pannes à un niveau " raisonnable " de 4 à 5 %. La fiabilité n'a été atteinte qu'en novembre 1990, avec un temps de pose moyen de dix-sept minutes par anneau. Très court I La conception de la plate-forme et de l'érecteur ont rendu le boulonnage difficile : sans doute l'un des postes de travail les plus exposés.
« L'expérience a confirmé qu'un seul érecteur suffit lorsqu'il n'y a qu'un seul type d'anneau à poser. Le T1 a tiré profit de son double érecteur, l'un posant les voussoirs de fonte, l'autre les anneaux de béton. Pour nous, cela n'aurait eu aucun intérêt ... sauf à encombrer l'espace déjà réduit. »

Des innovations productives

• L'alimentation des voussoirs par le haut : *« C'est un progrès indéniable. Ce système, a permis d'automatiser la manutention et de gagner beaucoup de temps. »*

Le dispositif de déchargement des voussoirs sur la remorque 12 (qui hissait les pièces de 8 tonnes du convoi d'approvisionnement vers la partie haute du train suiveur) s'est révélé fiable. A l'inverse du passage convoyeur-magasin qui a nécessité un entretien important.

• **L'injection du mortier de bourrage** *derrière les voussoirs (et non comme de coutume à travers des trous forés dans les voussoirs) : «Une réussite complète. Le travail, plus facile, a été de meilleure qualité. Autant de gagné pour l'étanchéité du revêtement.* »(croquis ci-dessous)

« Autre point très positif : la modulation du temps de prise du mortier selon la vitesse d'avancement du tunnelier. » Le pilote commandait à volonté le dosage du fondu : 8 à 13 % du mélange, 11 % en moyenne pour un temps de prise moyen de quinze minutes. »

« Par contre, nous avons vite constaté que le cubage injecté, 9,6 m^3 au total par anneau, était supérieur de 1 m^3 au cubage théorique. De plus le mortier remontait le long de la jupe en direction de la tête, ce qui explique sans doute les forces de recyclage élevées qu'il a fallu mettre en oeuvre. Progressivement, le terrain devenant plus sec et le "tour de main "venant au pilote qui doit travailler uniquement à la pression, les quantités injectées ont diminué d'un mètre cube. »

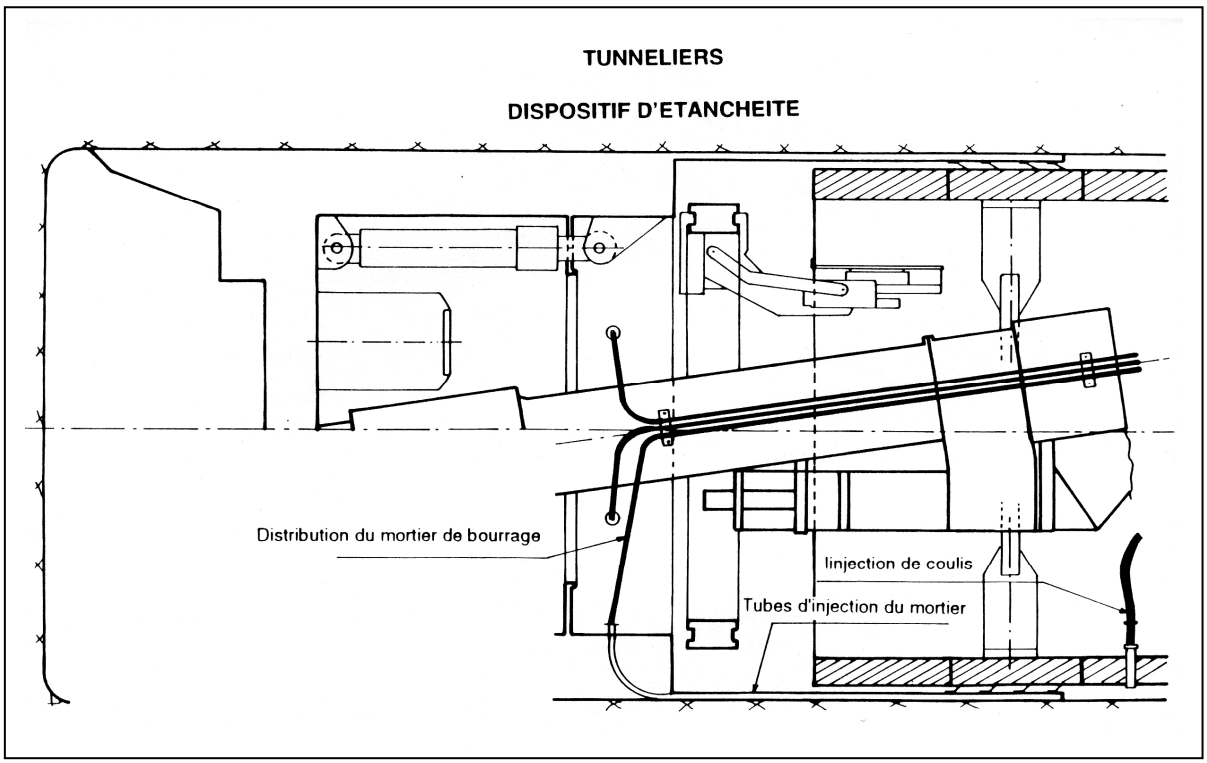
Il reste que la fiabilité du matériel d'injection mérite d'être améliorée (10 % du total des pannes et forte consommation de pièces de rechange) et que la corrélation entre les besoins du tunnelier et le remplissage au puits aurait pu être affinée pour diminuer les pertes..

• **Le joint de queue**, vendu avec une durée de vie de 4 000 mètres, a tenu sur les 19 000 mètres de parcours. « Bravo *aux fabricants et aux pilotes ! ».* (croquis en bas de page)

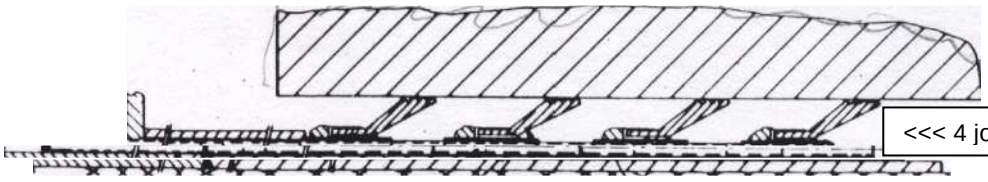
Il a fallu 28 kg de mastic par anneau pour assurer l'étanchéité. A signaler : le passage en cours de chantier du fabricant (alors exclusif) japonais à un fournisseur français (Condat). Pour une meilleure qualité et à moitié prix.

• **Les patins marchants** et fixes supportant la première remorque ont eu du mal à soutenir leur charge : 130 tonnes par pied.

Les voussoirs à peine posés aussi, avec un mortier non encore consolidé. *« La solution : couper la première remorque en deux (comme on l'a fait pour le T5) ou la reculer par rapport au tunnelier. »*



Le dispositif d'injection

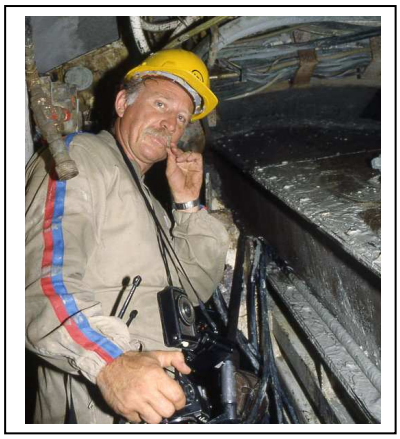


<<voussoir

<<< 4 joint métalliques

Les joints de queue

Les équipes des T2 et T3



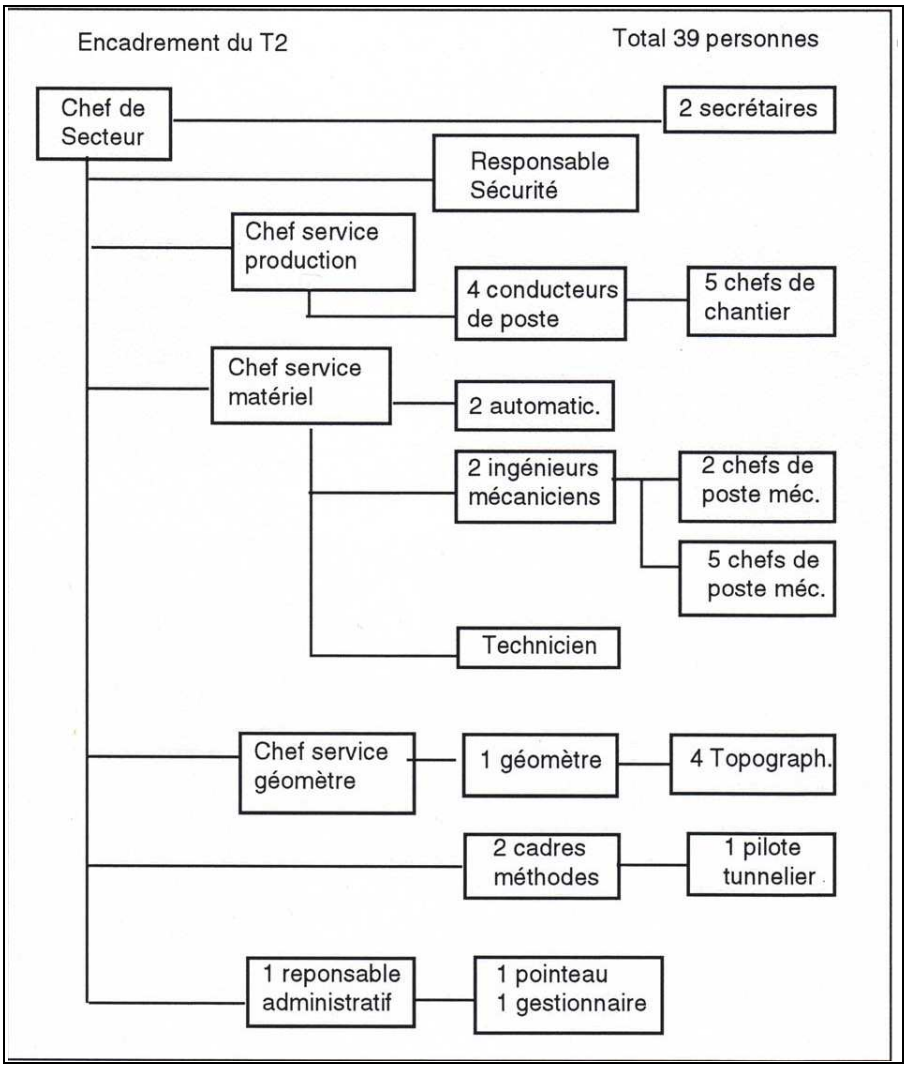
L'ORGANISATION et la structure des secteur des tunnels ferroviaires sous mer est calquée sur celle du tunnel de service. Cependant chaque secteur ayant sa propre personnalité on constate quelques variantes tant au niveau de l'encadrement qu'à celui du personnel ouvrier.

Si la longueur du tunnel de service a peu varié depuis la prévision initiale, celle des tunnels ferroviaires est passée de 15,6 km à 20 km pour le T2 et 18,8 pour le T3. Comparativement, la taille des tunneliers et la distance n'ont pas eu d'effet amplificateur sur les effectifs. On constate bien au contraire une diminution sensible par rapport au T1 qu'il faut attribuer à l'expérience acquise.

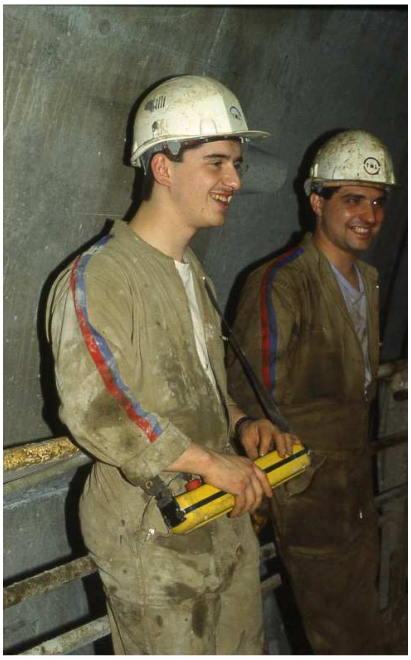
Si l'on ne tient pas compte des ouvrages spéciaux rattachés ultérieurement à chaque tube (à partir de Septembre 1990) ; l'encadrement des T2 et T3 s'élève au plus fort de la production, à 39 personnes, contre 44 pour le T1.

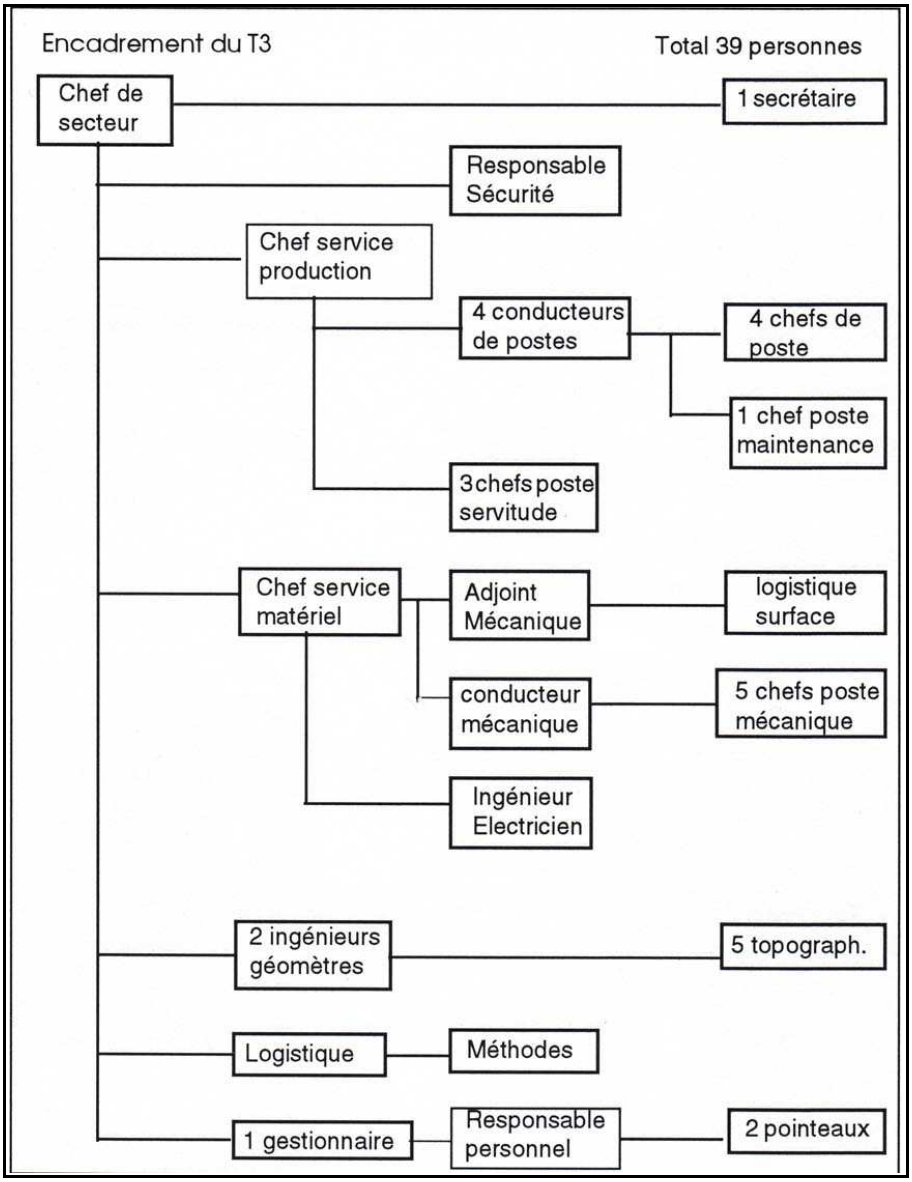
Placé initialement sous l'autorité de Raymond Fava, qui supervisait les deux tunnels le secteur T2 a ensuite été dirigée par Jean-Pierre Vigouroux après le départ de celui-ci en Oct. 90.

L'organigramme représenté ci-contre correspond à celui existant à cette date.



Dans le même temps Lionel Suquet a pris la direction de secteur T3 avec une organisation quelque peu différente.





Le personnel ouvrier diffère très peu de l'un à l'autre tube. L'effectif total a atteint au maximum de la longueur 299 personnes dans les deux cas. A titre de comparaison avec T1, lorsque les tunneliers ont atteint le PK 16 l'effectif a tourné autour de 260 personnes contre 300 pour T1

Fonctions	Postes 1 à 4	Poste 5	Total
Conduite tunnelier	4	1	5
Pilote, Topo	8	2	10
Pose des voussoirs	20	-	20
Injections bourrage	20	5	25
Back up	68	2	70
Roulage 1CE + 14	60	15	75
Nettoyage radier 1CE + 8	36	9	45
Mécanicien électri. de poste	26	-	26
Mécanicien électri. maintenance	-	15	15
Logistique	6	2	8
Totaux	248	51	299
Par poste 1 à 4	62		
Poste 5		51	

Les jonctions

LA détermination du point de jonction des tunnels a été l'objet d'un challenge permanent entre les attaques françaises et britanniques, en particulier pour les tunnels ferroviaires, chacun rivalisant en performances pour passer la frontière.

Il est remarquable de constater que de part de d'autres, plusieurs mois avant chaque jonction, les tunneliers ont fonctionné comme des horloges et progressé à une cadence régulière et soutenue. Les hommes soudés et tendus vers l'objectifs commun, faisant corps avec leur machine ont été les acteurs essentiels de cette phase des travaux.

La détermination des points de rencontre a néanmoins été fixée deux mois avant les dates arrêtées pour déterminer le nombre de voussoirs à préfabriquer, en particulier du côté britannique où il était prévu de fermer l'usine de voussoirs avant la date de la dernière jonction. La position exacte des jonctions a été également choisie pour réduire au minimum l'impact sur les rameaux.

Le principe retenu pour le tunnel de service est différent de celui des tunnels ferroviaires. La jonction du tunnel de service est réalisée avec effacement latéral du tunnelier britannique qui vient se placer entre le T1 et le tunnel ferroviaire sud. Celle des tunnels ferroviaires l'est par enfoncement vertical des tunneliers britanniques qui amorcent une courbe plongeante venant les placer en dessous du niveau inférieur des T2 et T3.

La jonction du tunnel de service

Le point de jonction a été fixé au PM 16.620. Lorsque les deux tunneliers sont à deux kilomètres l'un de l'autre, un contrôle topographique complémentaire est effectué pour assurer la correspondance avec les critères d'alignement et avec la polygonale du projet.

La réalisation de la jonction est réalisée en quatre phases illustrées par les croquis ci-après

Phase 1 :
Le tunnelier français s'arrête au PM 16.620. Le dernier stroke est creusé en mode en ouvert afin de permettre la réalisation d'un chambre de 1.40 m à l'avant du T1 après recul de la tête. (A)

- (B) Désarmement du tunnelier
- Le tunnelier britannique (TBMUK) s'immobilise à 60 mètres environ du T1. Un sondage est effectué à partir du TBM UK en utilisant les méthodes "down the hole" permettant de confirmer la position relative des deux tunneliers (C). (photo).
- Le train suiveur du TBM UK est désaccouplé et modifié pour lui permettre d'avancer sur un rayon serré (E).

Phase 2 :

- Désaccouplage du train suiveur du T1, recul et démontage. Désarmement du tunnelier (A)
- Progression en courbe du TBM UK sans pose de voussoirs, l'excavation est soutenue par boulons d'ancrages et béton projeté. Le TBM UK s'immobilise entre le T1 et le tunnel ferroviaire dont le tracé est décalé de trois mètres vers le Sud pour échapper au bouclier abandonné. Celui-ci est désarmé et bétonné (D)
- Creusement manuel, depuis l'arrière du TBM UK d'une galerie de petite section (2 m x 1.5 m)
- Percement et fermeture définitive de la polygonale topo (C)

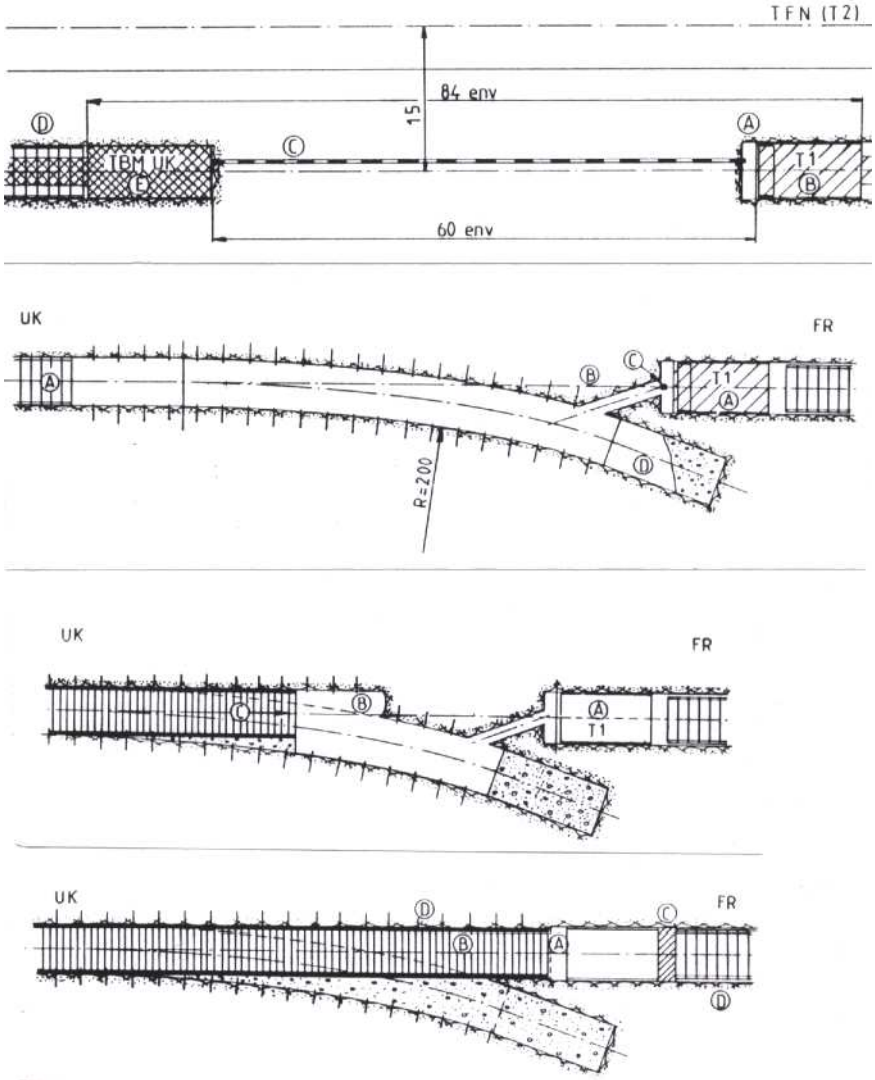
Phase 3 :

- Fin du démontage du T1 (A), la jupe est abandonnée
- Creusement en traditionnel au moyen d'un machine ponctuelle de la partie à reprofiler (B). La paroi est soutenue par cintres avec blindage en bois
- A l'arrière, pose des anneaux fonte et remplissage du vide latéral en béton par plots de trois anneaux (C).

Phase 4 :

- Fin du reprofilage du T.S (A)
- Pose des anneaux fonte jusque dans la jupe du T1 (B).

- Réalisation de la jonction avec les voussoirs côté France au moyen d'un anneau en béton armé coulé in situ (C)
- Clavage du revêtement et finitions diverses (D).



Les derniers coups de marteau piqueur de Philippe Cozette

• Le tunnelier britannique arrive le premier au

La jonction des tunnels ferroviaires

Pour le T2 le point de jonction a été fixé au PM 20007 soit 720 mètres au delà de la frontière théorique que l'on situe au PM 19287 (chaînage français).

Celui du T3 l'a été au PM 18868 en compensation de notre intrusion en territoire britannique bien que pour le T1 nos amis anglais en avaient déjà eu l'avantage (mais cela était déjà prévu dès l'origine).

Le contrôle de l'alignement a été grandement facilité par la présence du tunnel de service et les jonctions dans les deux cas ont été réalisées avec une très grande précision.

Le seul problème était d'ordre géologique. En effet il était préférable que dans la phase de "plongée" les tunneliers restent encore dans la craie bleue en évitant le Gault. Des reconnaissances menées à partir du tunnel de service ont été rassurantes sur ce point.

La jonction s'est déroulée de façon identique pour les deux tunnels ferroviaires. Les phases de réalisation décrites ci-après pour le T2 sont illustrées par des croquis.

Phase 1 : vue en élévation.

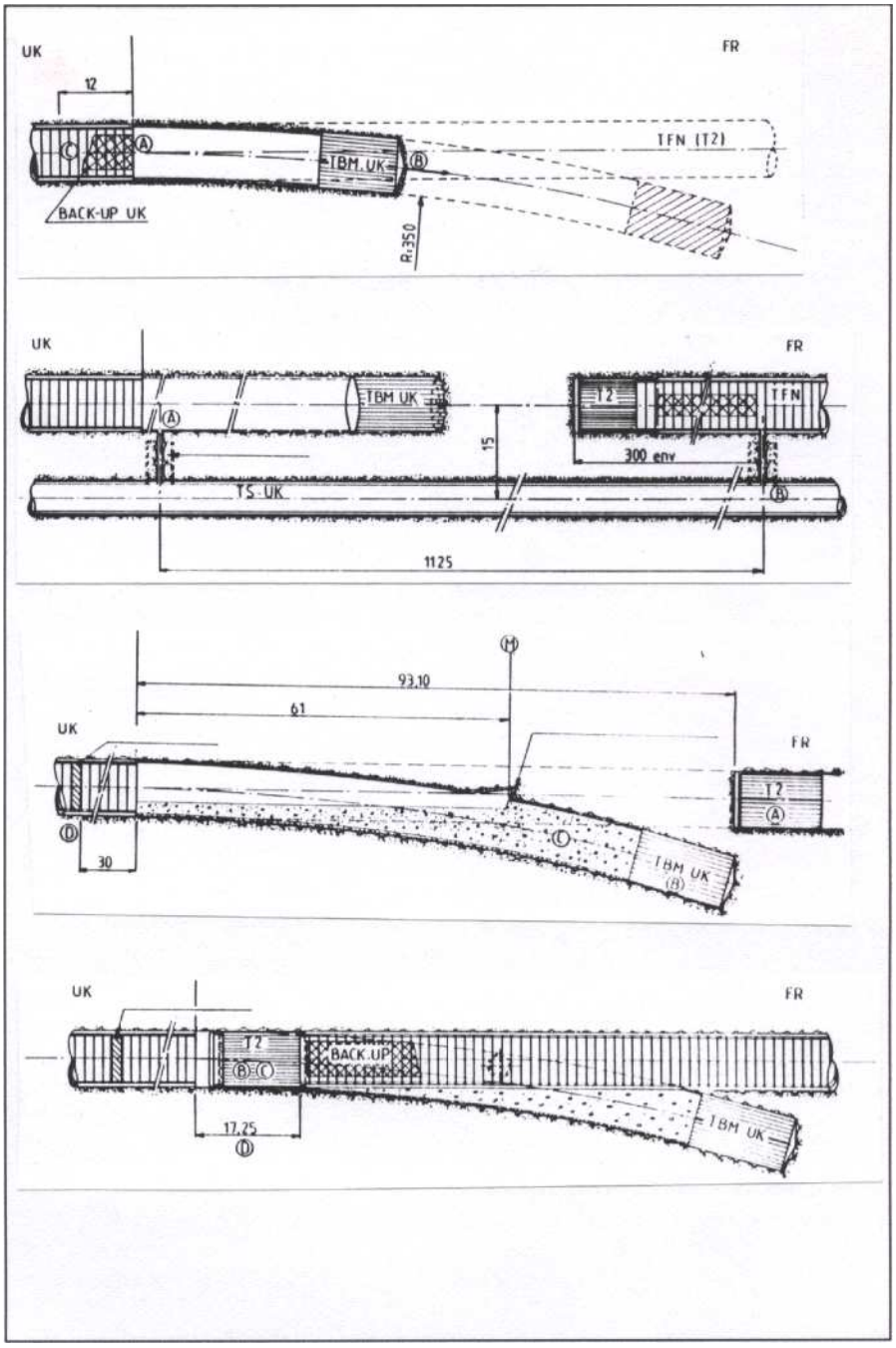
Le tunnelier britanique arrive le premier au PM 20007 et s'arrête au point A. Le train suiveur ou Back up est désaccouplé. Le TBM UK est modifié pour lui permettre d'avancer seul.

• Le TBM UK progresse en courbe dans le plan vertical suivant un rayon de 350 mètres sans pose de voussoirs (B). L'excavation est soutenue par des boulons d'ancrage et du béton projeté.
• Démontage du "back-up" à l'arrière.

Phase 2 : vue en plan

• Exécution à partir du tunnel de service UK de deux forages de 500 mm de diamètre. Le premier (A) au PM 20 057 soit 50 mètres avant le point de jonction, le second (B) au PM 18 932 en arrière du train suiveur du T2 lorsque celui-ci en progression, n'est plus qu'à 800 mètres environ de ce point.

• Vérification topographique de l'alignement par ces deux forages.



Phase 3 : Vue en élévation
• Côté France, le T2 arrive au point de stationnement (A) situé à 93.10 mètres de la jonction.
• Côté UK, le TBM arrivé en fin de course est abandonné (B). Après démantèlement, il est bétonné ainsi que la totalité de la tranchée jusqu'au niveau des voies provisoires (C)
• Au point (M), une amorce de galerie est aménagée afin de permettre la sortie du personnel du tunnelier français lors du percement.

• A trente mètres du point de jonction (D) un "Sas frontière" est mis en place pour séparer les chantiers des deux pays.

Phase 4 : vue en élévation
• Le tunnelier français progresse jusqu'au point de jonction. Le dernier stroke est effectué en mode ouvert. Le tunnelier est arrêté lorsque la jupe arrière est à 17.25 mètres du point de jonction (B). Jusqu'à ce point il a continué à poser des voussoirs en béton armé.
• Démontage du train suiveur (C) et démantèlement complet du T2 jusqu'à ne laisser en place que la jupe.

Du point de jonction à l'arrière de la jupe 23 anneaux fonte de 0.75 de longueur sont finalement posés par les équipes britanniques qui procèdent également au clavage des derniers tronçons de la jonction.

Les mesures après jonction

IMMEDIATEMENT après le percement des tunnels il a été nécessaire de mettre en place une organisation commune permettant de gérer les problèmes techniques et humains en commençant comme nous l'avons vu par la matérialisation de la frontière et son contrôle physique.

La logistique des chantiers français et britannique continue d'être assurée de part et d'autre comme elle existait avant la jonction. Les problèmes ne sont donc à régler qu'au niveau des interconnection des systèmes, des relations humaines et de la sécurité.

Les communications

Dès percement, deux lignes directes sont établies entre les centres de contrôle français et britanniques. Ces lignes utilisent les câbles téléphoniques multi-conducteurs existants. Elles sont déconnectées des deux standards (auto commutateurs) et sont reliées à des postes séparés permettant une communication directe entre les deux centres de contrôles. Ces centres sont eux mêmes reliés à un système de communication "hors tunnel" indépendant.

Les systèmes radio français et britanniques sont de mêmes conception et utilisent les mêmes bandes de fréquence. II n'y a actuellement pas de système radio éprouvé en souterrain capable de garantir une communication sans distorsion sur toute la longueur des tunnels sous mer. La distance maximum utilisée côté français est de 16 km ; elle est de 19 km du côté britannique. Les systèmes restent donc indépendant après percement. Cependant le personnel traversant les limites du chantier pourront utiliser le canaux de secours pour chaque site.

L'eau et l'exhaure

L'alimentation en eau est maintenue dans chaque site au moyen des réseaux existants jusqu'à la mise en service de l'installation définitive.

En ce qui concerne l'exhaure, les installations provisoires britanniques permettent de reprendre sans modification les eaux d'infiltration des tunnels français qui sont en pente descendante depuis le point haut du PK 13.5 jusqu'aux points de jonction. Cette configuration permet de refouler ces eaux dans les conduites existantes au moyen des pompes installées dans le fil d'eau des tunnels et de les renvoyer par simple gravité jusqu'à la station W2 située au point le plus bas du tronçon sous mer.

Les dispositifs d'exhaure permanente et d'exhaure de secours seront maintenus dans tous les tunnels.

Une ventilation unifiée

La ventilation après jonction est mise en place en trois étapes au fur et à mesure du percement des trois tunnels, en ayant comme objectif

- d'avoir un système unique de ventilation franco-britannique

- d'assurer une alimentation maximale d'air frais pour mettre l'utilisation de locotracteurs diesel.

- de supprimer les installations provisoires dès que possible afin de faciliter la pose des équipements fixes définitifs

• **La ventilation après jonction du tunnel de service** est assurée par la station du PK 18.0 installée après percement qui insuffle de l'air frais en établissant un courant dans le sens France-UK en fonction des besoins qui peuvent varier de 0 à 30 m^3/sec. Cette station est associée à un sas permettant le passage du personnel et des trains travaux.

• **La ventilation après jonction du premier tunnel ferroviaire** n'est pas modifié. Une cloison provisoire est installée au point de jonction pour que les TF continuent d'être ventilés indépendamment.

• **Après jonction des trois tunnels**, la ventilation est assurée par soufflage d'air frais en pleine section depuis la France vers la Grande-Bretagne. Un débit d'air d'environ 210 m^3/sec circulant à la vitesse de 2 à 3m3 /sec est alors fournie par l'installation de surface de SANGATTE. Ce système est régulé par des sas installés à l'entrée des tunnels mer en fond de gare. II permet de démonter toutes les installations provisoires et de faciliter la mise en place des équipements fixes.