

<http://michel.jean.free.fr/Frasne-Vallorbe/Chronoramas-FV.html>

Le percement du souterrain du Mont d'Or, entre 1910 et 1915, a été une aventure de grande importance mais complexe : plusieurs Chronoramas en rendent compte (tête France, tête Suisse, intérieur du tunnel...). Cette réalisation, aussi spectaculaire fût-elle, a nécessité un rigoureux travail de positionnement théorique puis effectif de l'axe du tunnel. Il a fallu, pour cela, engager une démarche de triangulation conduisant, d'une part, à la production d'un canevas directeur établi par dessus la montagne du Mont-d'Or et, d'autre part, à la détermination des angles à respecter lors du percement de la roche. Sans ce travail sophistiqué de triangulation et de repérage, jamais les galeries d'avancement venant de France et de Suisse n'aurait pu se rencontrer, en un point situé à environ 1 km de la tête France et à 200 m environ sous terre.

Les études techniques de la nouvelle ligne Frasné-Vallorbe ont commencé en juillet 1909 avec, en préalable, ce travail de positionnement du tracé de l'ouvrage. Vont immédiatement se succéder, en 1909-1910 :

- la détermination préliminaire d'une ligne de base polygonale ("charpente" du plan du tracé futur) ;
- la triangulation proprement dite, c'est à dire la réalisation d'un tracé trigonométrique précis et complet avec fixation des sommets des triangles, mesure des bases, mesure des angles... ;
- et enfin le rattachement de l'axe du souterrain à cette triangulation et l'application de celui-ci sur le terrain (avec piquetage).

Plus tard, interviendront, au fur et à mesure de l'avancement des galeries dans le Mont-d'Or, des opérations complémentaires de calage progressif du tracé dans le souterrain lui-même.

Cette phase préliminaire du projet de percement du Mont-d'Or n'est pratiquement jamais évoquée dans les textes de présentation de l'aventure du Frasné-Vallorbe. Ce Chronorama, peu visuel (pas ou peu de photographie ou carte postale), ambitionne de présenter et expliquer ce qui a été fait.

Sommaire

- 01 - Préalable : des sources (documentaires) et des hommes
- 02 - Rappel des caractéristiques géométriques du souterrain
- 03 - Chronologie des opérations et conditions particulières de leur réalisation
- 04 - Canevas polygonal ou "charpente" de positionnement théorique de l'axe du tunnel
- 05 - Comparaison des plans des deux documents Collange et Poivre
- 06 - Opération préalable de nivellement (détermination des altitudes)
- 07 - Implantation d'une ligne de base (ou charpente) polygonale au 1/1000^e
- 08 - Triangulation par dessus le Mont-d'Or (août-septembre 1909)
- 09 - Rattachement de l'axe du souterrain à la triangulation
- 10 - Réalisation effective du tracé dans le souterrain
- 11 - In fine... et après

01 - Préalable : des sources (documentaires) et des hommes

Trois documents d'époque traitent des principes et des phases successives de cette démarche de positionnement et de triangulation. Deux d'entre eux, très détaillés et très proches, comportent de nombreux développements mathématiques (trigonométriques) qui ne seront pas repris ici .

- C^{ie} des chemins de fer P.-L.-M. (1921), *Ligne de Frasné à Vallorbe, Rapport sur l'exécution des travaux et les dépenses effectuées*. Ce rapport récapitulatif des travaux reste sommaire sur l'opération de positionnement du tracé et la triangulation.
- Poivre & Nivert (P.-L.-M.), *Ligne de Frasné à Vallorbe, Souterrain du Mont d'Or, Notice sur la triangulation de l'axe du souterrain*, 17 août 1914. Cette notice interne du P.-L.-M. rédigée par le Chef de section Poivre et validé par l'Ingénieur Nivert est assez détaillée mais rédigée tardivement.
- Collange A., *Ligne de Frasné à Vallorbe - Études et triangulation du souterrain du Mont d'Or*, Bulletin technologique de la société des anciens élèves des Ecoles. nat. d'Arts et Métiers, mars 1911, N°3, Pontarlier décembre 1910). Ce 3^{ème} document est un article rédigé en 1910 et publié dans cette revue, en 1911, par un Chef ou Sous-Chef de travaux, prédécesseur de Poivre.

Poivre

Selon le rapport P.-L.-M., de 1921, Poivre est Chef de section de la Compagnie. Affecté à Pontarlier, il est chargé du suivi des travaux de Vallorbe. Il est alors sous les ordres de l'Ingénieur Émile Nivert. On connaît son visage (mais pas son prénom) grâce à la photo (ci-contre) prise le 2 octobre 1913 lors de la rencontre des galeries.



Collange A.

Son article publié dans le Bulletin des anciens des Ecoles des Arts et Métiers se termine par "Pontarlier, décembre 1910, A. Collange, Aix 1901". Outre l'initiale du prénom (A), l'article fournit une clé importante : "C'est alors que notre ingénieur, M. Pénillet, après un examen minutieux du massif du Mont-d'Or, et des sommets environnants, reconnut la parfaite possibilité d'un tracé trigonométrique ou triangulation et en décida l'application".

A. Collange est donc, au moment des travaux de triangulation (1909), un collaborateur (Chef ou Sous-chef de section?) de l'Ingénieur Pénillet. Or ce dernier était, jusqu'en avril 1910, l'Ingénieur du P.-L.-M. responsable de la réalisation du Frasné-Vallorbe, sous la direction de l'Ingénieur en Chef, Paul Séjourné. Pénillet, en poste à Pontarlier, est remplacé 1^{er} avril 1910 par l'Ingénieur Émile Nivert.

Très vraisemblablement A. Collange est un "gadzart", un diplômé de l'École nationale des Arts et Métiers, puisqu'il publie, en 1910-1911, un article dans la revue des anciens de cette École. Figure même en fin d'article son année de diplomation (1901), date précédée de la mention de la localité Aix. À noter que les gadzarts sont alors nombreux à être recrutés par les compagnies de chemin de fer.

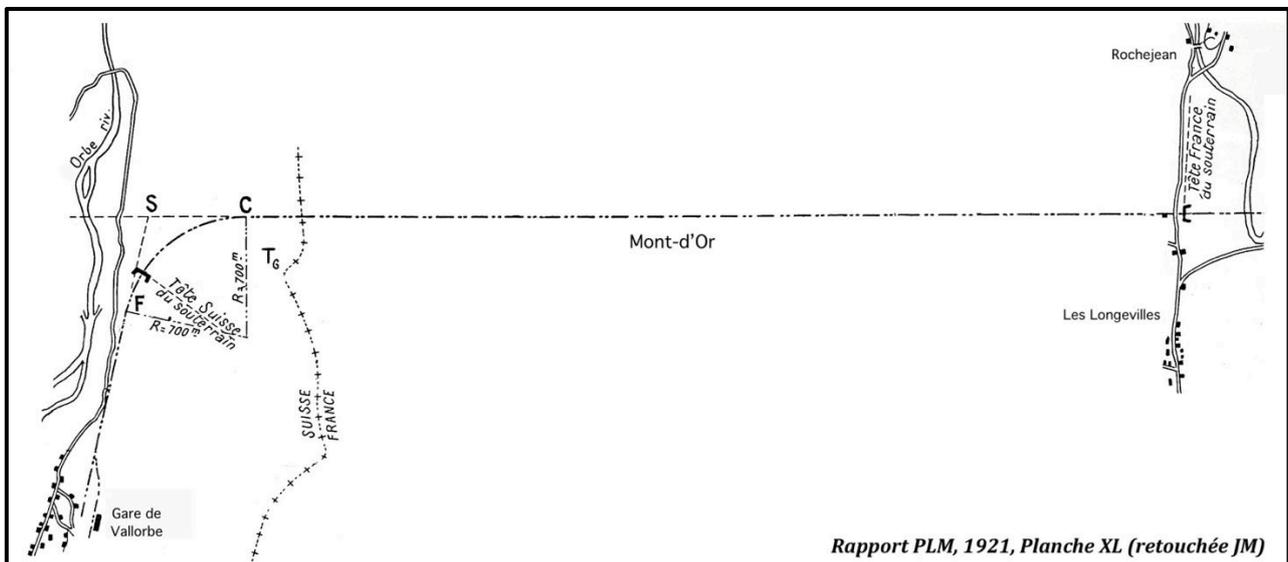
Ces éléments permettent d'émettre l'hypothèse qu'il puisse s'agir de Pierre Alphonse Collange, né à Chaméane (Puy-de-Dôme-63) le 1^{er} août 1875, marié le 4 novembre 1902 à Aix-la-Fayette (Puy-de-Dôme, à 5 km environ de Chaméane) et décédé le 16 mai 1928 à Chaméane. Il aurait 34 ans en 1909 (triangulation), 35 ans en 1910 (écriture de l'article). Les longs calculs trigonométriques développés dans l'article de Collange, témoignent de sa solide culture d'ingénieur.

Ces précisions permettent aussi de comprendre que les deux textes de Collange et de Poivre émanent bien de deux agents du P.-L.-M. (Poivre a vraisemblablement succédé à Collange). Le texte de Collange se situe au plus près, dans le temps, des opérations de triangulation (1909-1910) alors que la notice de Poivre, datant de 1914 en est plus éloignée. Approuvée par Nivert (qui n'était pas encore en poste au moment des premiers travaux de triangulation en 1909), la notice de Poivre a pu servir à la rédaction plus tardive du passage du rapport de 1921 de la Compagnie. Le Chronorama s'appuie (et jongle) entre ces différents textes.

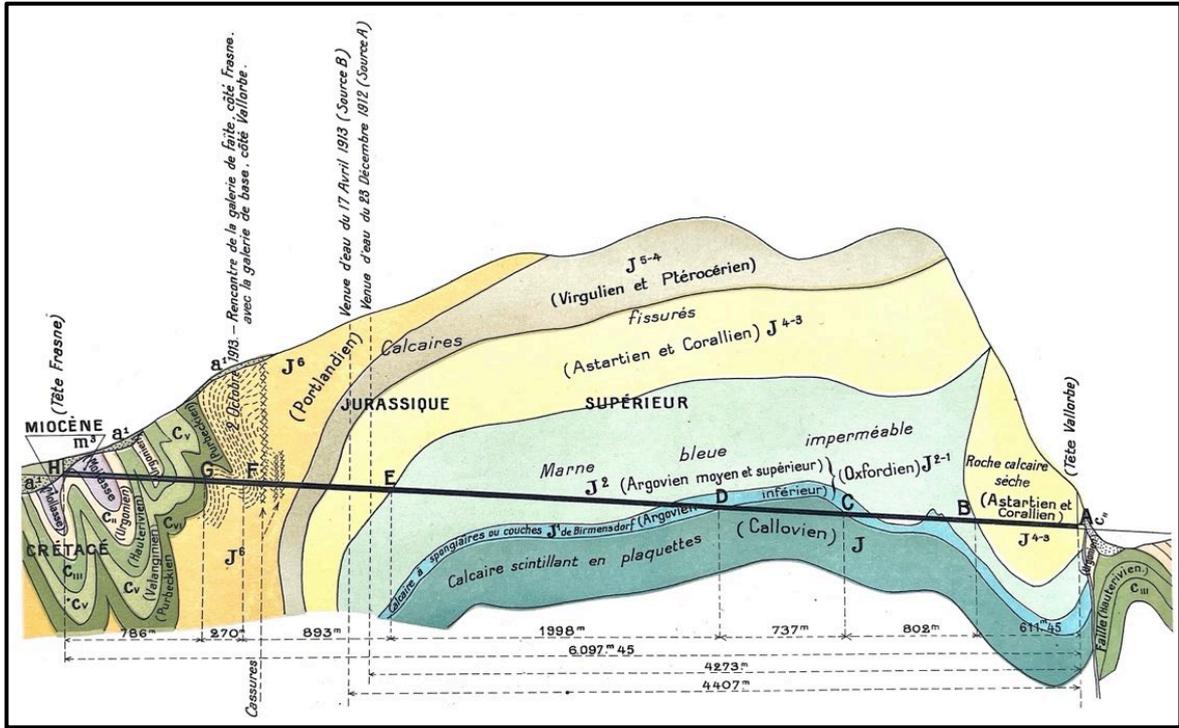
02 - Rappel des caractéristiques géométriques du souterrain

La ligne du Frasné à Vallorbe traverse la chaîne du Mont-d'Or par un souterrain de 6 100 mètres de longueur (6 097,45 m précisément), dont 5 109 m sur le territoire Français et 991 m sur le territoire Suisse.

Le souterrain s'étire en pente continue vers la Suisse. Depuis Les Longevilles, il se dirige en ligne droite vers la Suisse, sur une distance de 5 404,75 m (pente de 13^{mm}). Il amorce ensuite une courbe de 700 m de rayon, sur une longueur de 692,70 m (pente de 10,9^{mm}), pour déboucher dans le flanc abrupt de la vallée de l'Orbe (tête Vallorbe du tunnel) et filer ensuite tout droit (sur 1 400 m) vers la gare nouvelle de Vallorbe.

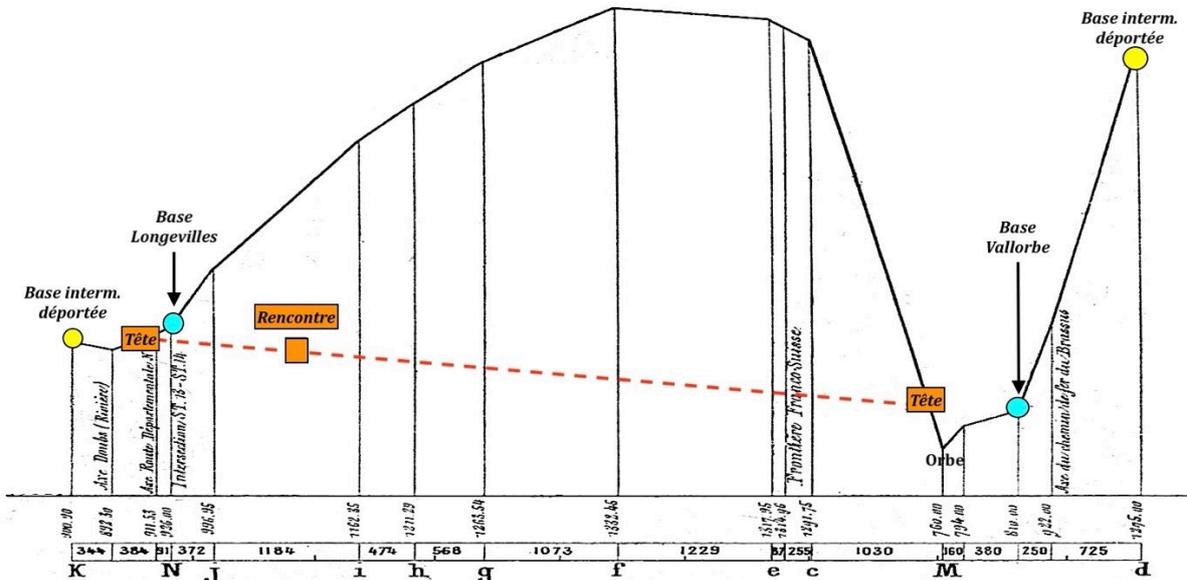


Sur le versant français, le sol du Mont-d'Or monte en rampe assez douce du Doubs (rivière) à l'altitude de 892 m, puis au point culminant 1 322 m. Il s'abaisse ensuite, dans le voisinage de la frontière franco-suisse, à l'altitude de 1 290 m. À partir de ce point, le relief du sol suisse devient très accidenté : à des parties boisées dont l'inclinaison est voisine de 45° succèdent brusquement des roches calcaires superposées par gradins presque à pic qui surplombent la vallée de l'Orbe. Comme le précisent les auteurs Collange et Poivre, cette partie présente même, sur beaucoup de points, des endroits dangereux à explorer et parfois même inaccessibles. La coupe présentée sur la planche XLI du rapport P.-L.-M. de 1921 montre la pente générale du souterrain et le passage de celui-ci à travers diverses couches géologiques.



Rapport P.-L.-M. , 1921, Planche XLI

À la fin de son article, Collange donne un intéressant profil en long ("mesuré") du Mont-d'Or, avec ajout, côté Suisse, de la dépression de l'Orbe et du massif de la Dent de Vaulion. Le schéma permet de comprendre pourquoi il a fallu aller chercher des points ou bases intermédiaires de triangulation à l'extérieur du massif du Mont-d'Or (sur Fourcatier à l'ouest pour la tête France et sur la Dent de Vaulion à l'est pour la tête Suisse). Les pentes raides du Mont-d'Or dans le pied du massif rendent en effet impossible un travail de triangulation avec visées directes, d'où le recours à de bases intermédiaires déportées à l'extérieur du massif du Mont-d'Or.



Collange, 1911 (schéma retouché JM)

03 - Chronologie des opérations et conditions particulières de leur réalisation

La notice de l'Ingénieur Poivre indique que le tracé du souterrain a nécessité, successivement, les opérations générales suivantes : réalisation d'une triangulation par dessus le Mont d'Or, puis application sur le terrain du canevas ou tracé théorique et enfin opérations d'application-suivi du tracé dans le souterrain.

03a - Calendrier général suivi

Poivre donne rétrospectivement le calendrier effectivement suivi et quelques dates de calage de ces diverses opérations. L'article de Collange écrit en 1910 ne traite pas des opérations postérieures à cette date dont celles réalisées dans le souterrain.

1°) Opérations en extérieur

- du 2 juillet au 13 août 1909 : nivellement de précision ;
- août et septembre 1909 : reconnaissance du terrain, choix des emplacements des sommets, travaux pour les rendre visibles et les consolider ;
- du 16 octobre au 28 novembre 1909 : réalisation des opérations de mesure des bases ;
- mars et avril 1910 : tracé de l'alignement du souterrain.

2°) Opérations dans le souterrain

- du 25 décembre 1910 au 21 mai 1911 : réalisation d'une 1^{ère} polygonale pour la courbe du souterrain (l'avancement étant alors de 870 m) ;
- août - septembre 1912 : vérification générale du tracé par le P.-L.-M. et par l'entreprise ;
- 8 octobre 1912 : achèvement d'une 2^{nde} polygonale (courbe du tunnel), l'avancement étant alors de 1 500 m ;
- 2 octobre 1913 : rencontre des galeries.

03b - Conditions des opérations à l'air libre (repérage et marquage du tracé sur le terrain)

Le rapport du P.-L.-M. de 1921 indique que : *“malgré la neige, le brouillard, des bourrasques : l'opération d'application du tracé sur le terrain ne laissa pas d'être assez laborieuse”*.

En 1910, Collange précise à plusieurs reprises ces conditions difficiles.

“Pour se faire comprendre aux grandes distances on dut renoncer aux signaux optiques qui n'étaient pas visibles, on échelonna des hommes de communication (trois et même quatre dans certains cas) qui se transmettaient les signaux de l'un à l'autre au moyen de sonneries de clairons ; le même procédé fut d'ailleurs employé pour les courtes distances.

Après les tâtonnements inévitables de début dûs au peu d'habileté des porte-mires à transmettre les sonneries d'une façon très claire, ce système de communication fonctionna parfaitement et nous donna d'excellents résultats au point de vue de la marche et de la précision des opérations.

Tous les points douteux, placés par un temps brumeux ou un grand soleil qui produisait sur la neige des effets de réfraction gênant beaucoup la visibilité, furent répétés un grand nombre de fois et plusieurs jours de suite. Il ne fut pas rare que pendant trois ou quatre jours consécutifs il ne fût possible de travailler d'une façon utile qu'une heure ou deux seulement”.

La notice de Poivre reprend en 1914 cette description du contexte pénible de réalisation des opérations.

“La situation atmosphérique dans les montagnes du Jura est rarement favorable aux opérations topographiques. Il fallait quelquefois attendre plusieurs jours pour avoir un temps calme et clair donnant une visibilité suffisante d'un signal à un autre. La transmission des signaux à grande distance a occasionné bien des tâtonnements. Les signaux optiques d'abord employés furent abandonnés pour les signaux acoustiques : on échelonnait des clairons qui transmettaient, au moyen de sonneries conventionnelles les indications des opérateurs.

Le tracé de l'alignement fut lent, difficile et laborieux. Il fallut abattre près de 300 gros sapins dans la forêt des Longevilles, ouvrir des tranchées dans la neige, lutter contre le froid vif de la montagne, subir de fréquentes bourrasques, attendre souvent inactifs, que le brouillard se dissipe et quelquefois regagner son logis sans avoir ou travailler utilement”.

03c - Les conditions des opérations dans le souterrain (selon Poivre)

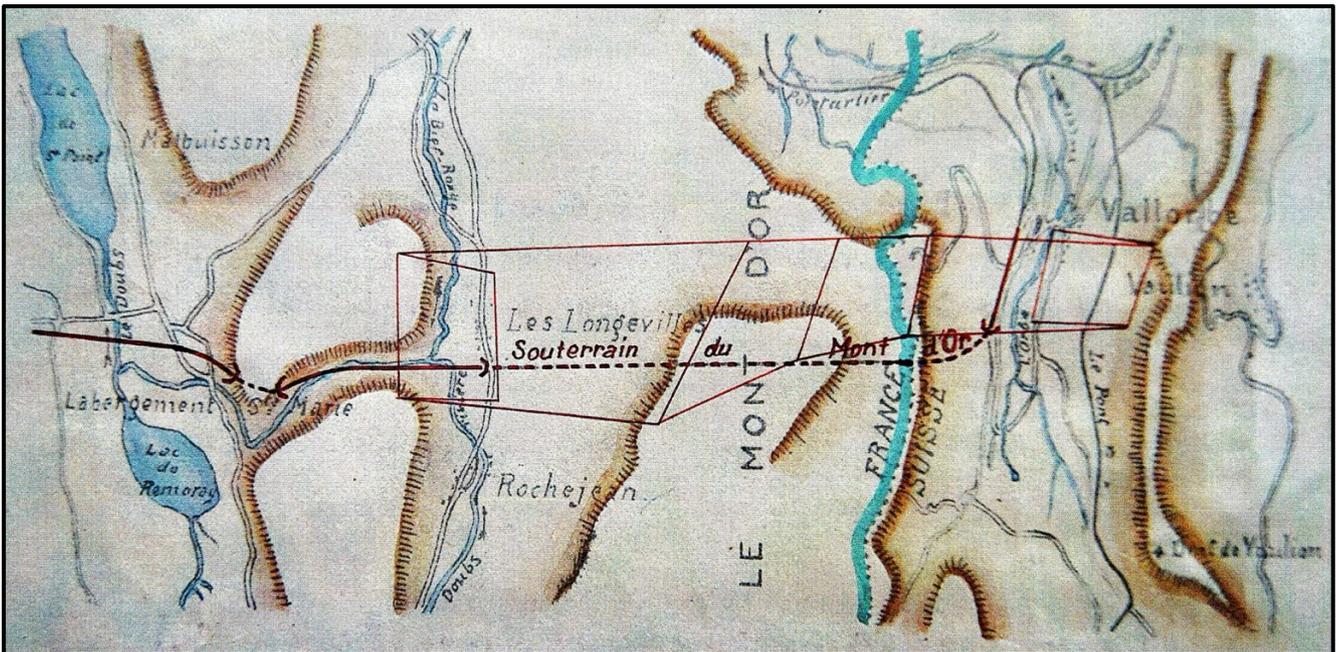
“Toutes les opérations de tracé et de nivellement dans le souterrain devaient nécessairement se faire pendant les arrêts complets des chantiers. Ces arrêts avaient lieu toutes les quatre semaines, le dimanche pendant lequel les ouvriers chomaient pour effectuer le roulement des postes”.

Il est important de souligner ici le fait que ces opérations préliminaires de nivellement, de triangulation et de marquage du tracé de la ligne (en particulier dans le souterrain) ont été le fait d'opérateurs spécialisés, compétents. On retrouve forcément à la manœuvre les ingénieurs du P.-L.-M. (Pénillet et Nivert), et leurs collaborateurs directs, Collange puis Poivre (et peut-être d'autres dont les noms sont inconnus). Des cadres de l'entreprise ont pu aussi participer à ces opérations : ils sont mentionnés à l'occasion des vérifications de la polygonale et du tracé comme aussi dans le souterrain en cours de réalisation.

04 - Canevas polygonal ou "charpente" de positionnement théorique de l'axe du tunnel

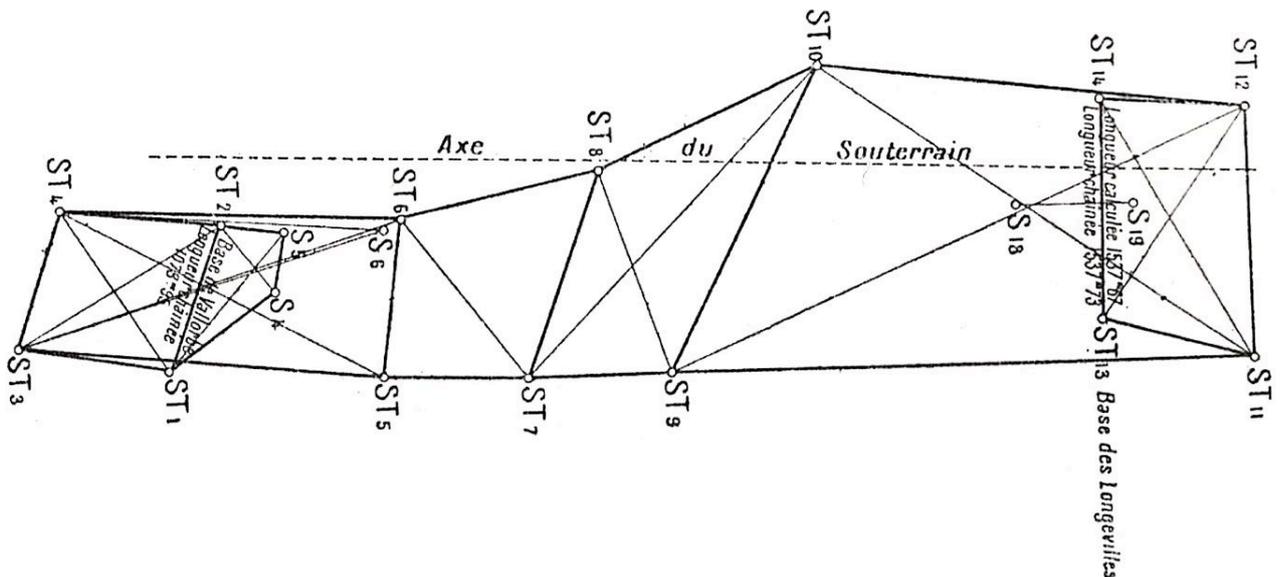
L'article de Collange et le rapport P.-L.-M. expliquent d'emblée que Mont-d'Or est fortement boisé et que son versant suisse est fort escarpé. Comme il est difficile voir impossible d'implanter un tracé direct, il a fallu recourir à un tracé polygonal et à une triangulation impliquant de rigoureux calculs trigonométriques.

La notice Poivre fournit, préalablement, un plan général simplifié (ci-dessous), non opératoire, mais qui situe bien le tracé dans son contexte topographique.



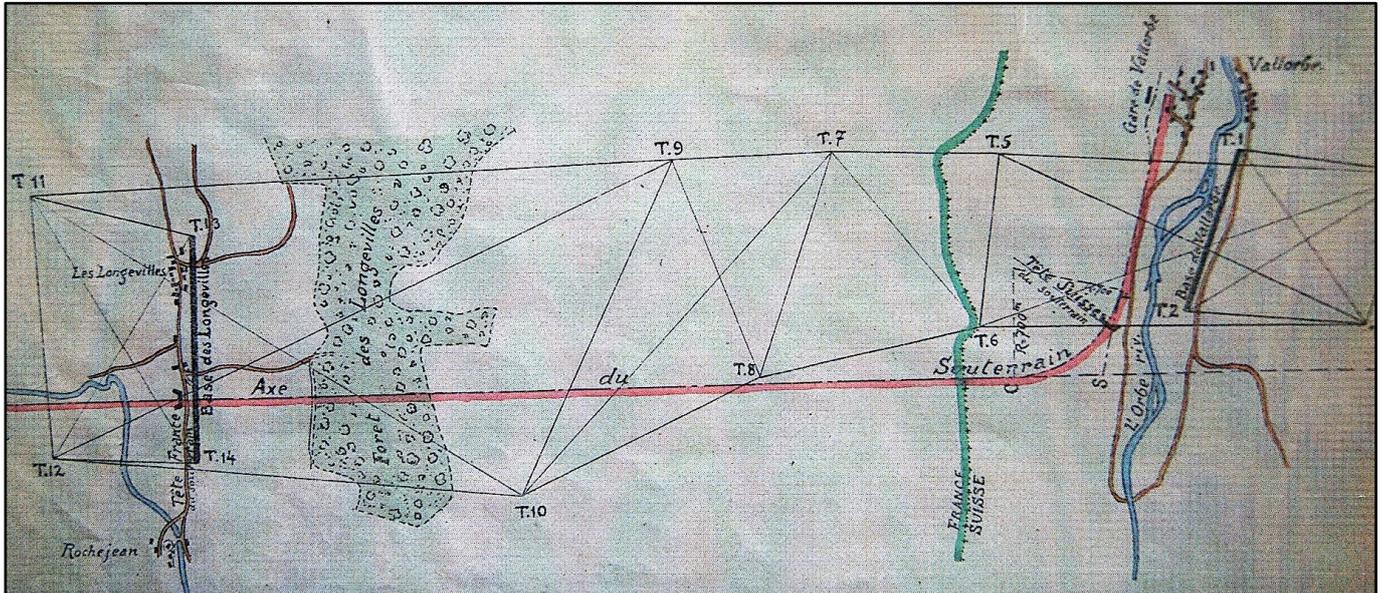
04a - Le tracé polygonal Collange

Une première version, assez précise, du tracé polygonal est fournie par Collange (ci-dessous). Les sommets des triangles sont majoritairement désignés par des noms en ST_i (ST₁, ST₂...ST₁₄). Mais on relève aussi quatre formes en S_i : S₄ et S₅ côté Vallorbe, S₁₈ et S₁₉ côté Longevilles. À noter que sur ce schéma Collange, Vallorbe est à gauche et Les Longevilles à droite. Collange évoque un point ST₀, situé à la gare nouvelle de Vallorbe.



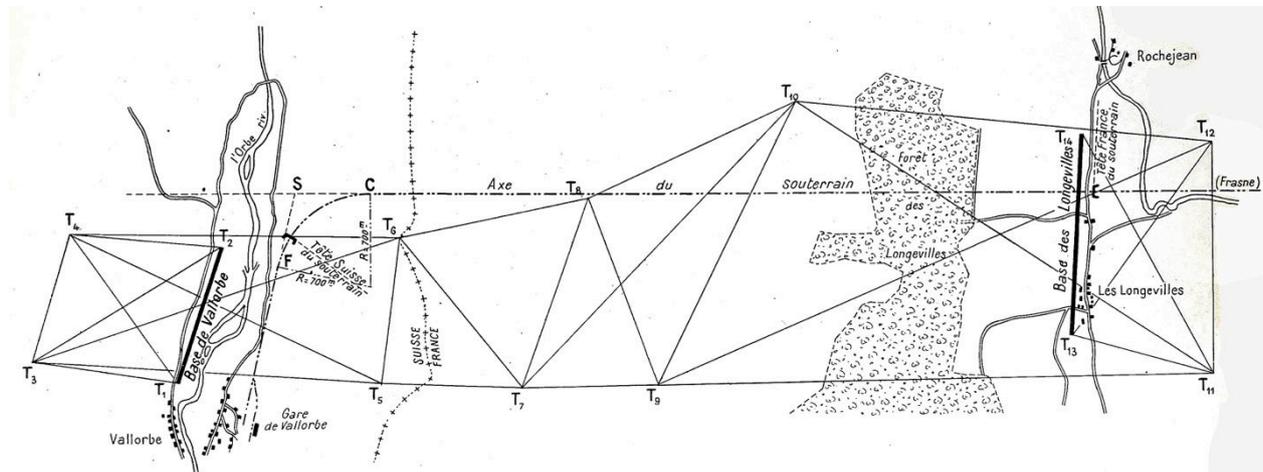
04b - Le tracé polygonal Poivre

Une seconde version du tracé polygonal, moins complet, figure dans la notice Poivre. On retrouve les mêmes sommets des triangles et quadrilatères. Leurs noms se limitent à des formes de type T_i ($T_1, T_2...T_{14}$). Ici, Vallorbe est à droite et Les Longevilles à gauche.



04c - Le tracé polygonal P.-L.-M. final

Publié en 1921, le rapport final du P.-L.-M. donne une dernière version du tracé polygonal. Les sommets des triangles et quadrilatères sont tous de type T_i et Vallorbe est ici à gauche. Le souterrain est bien positionné sur le canevas, avec des précisions sur le tracé en courbe à l'arrivée en Suisse.



04d - Remarques complémentaires

Ces opérations préliminaires ont pour but de bien déterminer l'angle directeur que doit faire l'axe du souterrain avec les deux bases de Vallorbe et des Longevilles ainsi que les mesures des diverses distances. Lors de l'avancement du percement, il convient de toujours bien respecter l'angle directeur et théorique de l'axe du tunnel et de valider les distances franchies.

Les textes de Collange, Poivre et du P.-L.-M. présentent quelques différences dans la désignation des sommets des triangles. Si initialement, l'équipe en charge de la triangulation (dont Collange a sûrement fait partie en 1909-1910), adopte la dénomination en ST_i pour les sommets des triangles et des quadrilatères, quatre ans plus tard, on semble avoir supprimé les lettres S (sommets) pour ne garder que les lettres T.

Par ailleurs, certaines lettres-repères mentionnées dans les textes sont absents des schémas publiés : perte ou manque sans doute de schémas complémentaires (annexes) plus précis que les schémas généraux publiés.

On s'efforce de préciser par la suite ce qui pourrait prêter à confusion.

05 - Comparaison des plans des deux documents Collange et Poivre

La plongée dans les deux textes de Collange et de Poivre s'avère vite compliquée. Il s'agit bien sûr de textes techniques, assez sophistiqués, dont une grande partie est consacrée à des développements mathématiques (trigonométriques notamment). Ils comportent par ailleurs des mots ou vocables spécialisés, dont certains peuvent parfois présenter des sens variables, dans le même texte et entre les deux textes : polygonale, charpente, base, tracé... Le décalage de quatre ans environ entre les deux textes explique aussi des variations dans l'interprétation des faits exposés. Et bien sûr le texte de Poivre, écrit alors que le percement du tunnel est achevé, développe certains points ne figurant pas dans le texte de Collange de 1910 (opérations tardives à l'intérieur du souterrain).

Il est utile de présenter et comparer ci-après les plans adoptés par les deux auteurs. Si globalement, ils sont cohérents entre eux, il faut noter que Collange développe une partie initiale (I) qu'on trouve plus dispersée dans Poivre (cas par exemple de l'opération de nivellement). La notice de Poivre développe une partie (3) absente chez Poivre, correspondant aux opérations réalisées au cours de l'avancement des galeries.

Collange	Poivre
<p>I - Implantation d'une ligne de base polygonale</p> <p>I-1 - Piquetage et chaînage de la polygonale I-2 - Mesure des angles I-3 - Nivellement</p> <p>II - Triangulation</p> <p>II-1 - Choix, emplacements et fixation des sommets II-2 - Mesure des bases II-3 - Mesure des angles II-4 - Rectification des angles relevés</p> <p>III - Application du tracé sur le terrain</p> <p>Rattachement de l'axe du souterrain à la triangulation 1°) Tracé de l'alignement droit du souterrain 2°) Détermination et piquetage de la courbe, côté Vallorbe</p>	<p>1 - Triangulation</p> <p>1a - Mesure des bases 1b - Mesure des angles 1c - Correction des angles 1d - Calcul des coordonnées</p> <p>2 - Application du tracé sur le terrain</p> <p>2a - Tracé de l'alignement droit 2b - Tracé de la courbe 2c - Détail du tracé</p> <p>3 - Opérations du tracé souterrain</p> <p>3a - Tracé de la courbe 3b - Tracé de l'alignement droit 3c - Nivellement 3d - Théodolite 3e - Signaux de visibilité 3f - Résultats des opérations</p>

Dans la suite du texte, on s'efforce de présenter les opérations dans un ordre combinant les apports des deux auteurs (au risque de faire des erreurs de mésinterprétation).

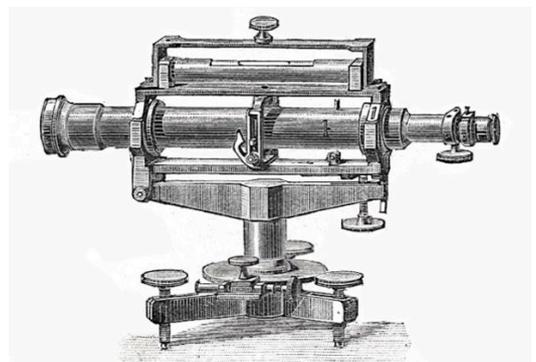
06 - Opération préalable de nivellement (détermination des altitudes)

Cette opération préalable de nivellement (établissement des cotes d'altitude) s'est déroulée, selon Collange, du 2 juillet au 13 août 1909. En reprenant et combinant les textes de Collange (1910) et de Poivre (1914), on parvient à reconstituer le déroulement de cette opération dont le but, in fine, est l'établissement de repères altimétriques à proximité des têtes suisse et française du souterrain du Mont-d'Or. Elle est menée de pair (selon Collange) avec l'implantation de la "charpente" du tracé au 1/1000^e.

L'opération implique le recours à un niveau à bulle indépendante, modèle de l'École des Ponts et Chaussées (ci-contre), provenant ainsi que les mires parlantes à coulisse, de la maison Ponthus et Therrode, de Paris.

Ce nivellement de précision, a pour origine un repère Lallemand situé sur le bâtiment occupé par la gendarmerie aux Hôpitaux-Neufs. Il suit ensuite la route et la ligne du chemin de fer des Hôpitaux à Vallorbe, puis franchit le Mont-d'Or pour se fermer sur un deuxième repère Lallemand situé aux Longevilles du Bas (maison Pelletier).

La longueur nivelée est d'environ 15 km avec un écart de fermeture -11 mm pour un opérateur et de +18mm pour la moyenne des deux opérateurs (écart très faible). Collange précise : "Si l'on observe que ce nivellement partant de la cote 990,50 m descend à 806,884 pour remonter à 1 393,189 m et descendre ensuite à 914,920, a été effectué du 2 juillet au 13 août 1909, période pendant laquelle la réfraction atmosphérique et les ondulations de l'image de la mire sont les plus grandes, on considère le résultat obtenu comme très bon".



Des altitudes "officielles" sont ainsi déterminées à l'occasion de ce nivellement.

- Repère R19 - Bâtiment communal (gendarmerie et bureau de poste) aux Hôpitaux Neufs : 990,500 m
- Repère R1A - Borne kilométrique 98 de la route nationale n°67 des Hôpitaux à Jougne : 1010, 286 m
- Repère R2A - Borne kilométrique 99 de la route nationale n°67 dans le village de Jougne : 974,647 m

Au cours de l'opération, deux repères fixes sont placés aux abords de l'entrée du souterrain côté Vallorbe.

Les mesures de nivellement se poursuivent, bien évidemment, à l'intérieur du souterrain pendant la durée même du percement du tunnel. Comme le précise Poivre, des repères sont placés sur les sommets de la "Polygonale" de la courbe du tunnel et sur les plaques de direction de l'alignement droit de celui-ci. Au fur et à mesure de l'exécution des piédroits, de nouveaux repères sont scellés dans les maçonneries.

NB. On ne dispose pas de vues photographiques sur cette opération préliminaire de nivellement (comme de la triangulation) mais on peut y rattacher des vues légèrement plus tardives avec l'Ingénieur Nivert à la manœuvre à partir d'avril 1910. Émile Nivert, patron de Poivre, est en effet photographié à plusieurs reprises sur le chantier du tunnel du Mont d'Or, sans doute lors d'opérations de nivellement et de mesure d'angles. On le découvre ci-dessous, avec un appareil de visée, d'une part à gauche, au bord d'une rivière (sans doute l'Orbe ou peut-être le Doubs) et d'autre part, à droite, à l'entrée du souterrain du Mont d'Or.



JM881, ph. non ident., Vie du Rail, date : 1910



JM025, CPA, A. Deriaz (1930), 12 janvier 1911

07 - Implantation d'une ligne de base (ou charpente) polygonale au 1/1000^e

Collange mentionne et décrit une première étape visant à implanter une ligne de base, polygonale au 1/1000^e, visant à se rapprocher le plus possible du tracé initial étudié en 1900 et établi sur un plan tachéométrique (à faible précision au 1/5000^e). Cette ligne brisée comporte 23 sommets : S₀, S₁, S₂,...S₁₈, S₁₉, S₂₀, S₂₁, S₂₂. Malheureusement, on ne dispose pas d'une copie du tracé de cette "charpente" polygonale.

Collange précise ensuite les opérations de piquetage et de chaînage de cette polygonale sur le terrain.

L'implantation ayant pour origine le sommet S₀ (axe du bâtiment des voyageurs de la gare de Vallorbe) se continue facilement jusqu'au sommet S₅. De ce dernier point situé au pied du versant à pic de l'Orbe il est absolument impossible d'apercevoir le sommet de crête S₆, ou même un point intermédiaire. De plus, la distance entre ces points ne peut pas être obtenue directement par suite des fortes déclivités de la côte et des dangers que peut présenter un chaînage même approximatif.

La distance S₅-S₆ est alors déterminée par une opération trigonométrique ayant pour point de départ la ligne S₄-S₅ et pour bases intermédiaires les droites AB et AC situées sur la ligne du chemin de fer de Brassus.

Pour déterminer la position du sommet S_6 d'une façon plus exacte, on choisit, en crête du versant de l'Orbe, deux bases S_6 -E et S_6 -D visibles des précédentes et rattachées à celles-ci au moyen d'angles et de triangles. On obtint ainsi une série de triangles où il est possible de calculer l'élément inconnu S_5 - S_6 de plusieurs façons et de prendre comme longueur définitive la moyenne des résultats obtenus.

A partir du sommet S_6 , dans le but d'éviter de trop grands abatages de bois dans les forêts qui couvrent le versant français des Longevilles et les hauts pâturages du Mont-d'Or et aussi pour faciliter le piquetage et le chaînage des côtés de la polygonale, on fixe les sommets dans les parties escarpées à gauche de l'axe probable mais quelquefois assez éloignées de celui-ci.

Les chaînages sont faits avec des rubans décamétriques en acier, étalonnés au bureau des Poids et Mesures de Pontarlier au moyen d'une règle étalon de 2 m de longueur. Une deuxième vérification faite à Paris, quelque temps après le commencement des opérations, au bureau municipal des Poids et Mesures, accuse une différence de 2 mm pour une chaîne et 3 mm pour une autre.

Les points de chaînage sont marqués au crayon sur le rocher ou sur des pierres plates encastrées dans le sol aux endroits où le profil s'écarte trop de l'horizontale. Chaque côté étant chaîné deux fois (non dans le même sens) et une troisième fois dans le cas d'un écart trop grand, la longueur adoptée est toujours la moyenne des deux chaînages présentant le plus faible écart.

Pour la mesure des angles et le tracé des alignements, on se sert, dans cette première étape, d'un théodolite Richer petit modèle donnant les 20".

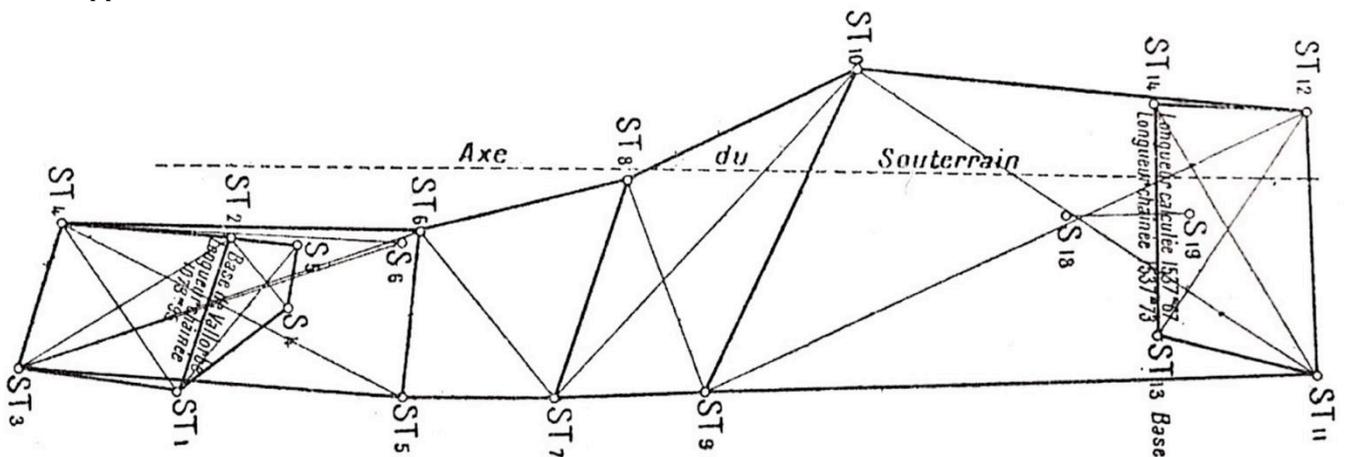
Cette polygonale est exécutée conformément aux prescriptions de la circulaire numéro 15 de M. Séjourné, Ingénieur en chef de la construction à la Compagnie du Paris Lyon-Méditerranée. Elle sert de "charpente" pour le plan tachéométrique au 1/1000^e destiné, lui, à l'étude définitive du tracé.

La notice de Poivre ne détaille pas cette première opération mais confirme toutefois l'établissement d'une ligne de base (ou charpente) polygonale implantée sur l'axe ou à proximité des tracés étudiés initialement sur les plans au 1/5000^e.

Les plans à venir du lever tachéométrique au 1/1000^e destinés à l'étude définitive des tracés sont rattachés à cette ligne de base polygonale. Poivre confirme que l'implantation de cette charpente a été difficile, sinon impossible sur le versant escarpé Suisse où la pente, très forte est boisée ou découpée par des rochers abrupts et qu'il a été nécessaire de recourir à une opération trigonométrique pour relier entre eux les plans d'études levés aux abords des têtes, fixer l'axe du souterrain et déterminer sa longueur.

08 - Triangulation par dessus le Mont-d'Or (août-septembre 1909)

L'implantation de la ligne de base au 1/1000^e, quoiqu'exécutée avec le plus grand soin, ne peut pas suffire pour un souterrain d'une telle grande longueur. La majeure partie des angles de la "charpente" est vérifiée au moyen des polygones de fermeture, mais il est impossible d'avoir un contrôle exact de la mesure des longueurs. C'est alors que "notre ingénieur, M. Pénillet, après un examen minutieux du massif du Mont-d'Or, et des sommets environnants, reconnut la parfaite possibilité d'un tracé trigonométrique ou triangulation et en décida l'application".



Le réseau de triangulation se compose de six quadrilatères et de deux triangles (y compris le quadrilatère de rattachement à la charpente au 1/1000^e, $S_4, S_5 T_1 T_2$).

08a - Choix, emplacement et fixation des sommets de la triangulation (août-septembre 1909)

L'idée prédominante dans le choix et l'emplacement des sommets du réseau de triangulation est d'obtenir un certain nombre de quadrilatères constitués par des triangles se rapprochant le plus possible du triangle équilatéral, c'est-à-dire ne présentant pas d'angles ni trop aigus, ni trop obtus.

1°) La localisation des sommets

Tous les sommets d'un même quadrilatère sont visibles entre eux sauf les ST₅, et ST₆. On a tout d'abord songé à aplanir l'arête barrant leur visibilité, mais on a renoncé à ce travail assez long et coûteux.

La première base ST₁-ST₂ (base principale dite de Vallorbe) est placée dans le fond de la vallée de l'Orbe, dans le sens du thalweg, à l'endroit où le terrain est le plus uni et complètement découvert, de façon que l'on puisse apercevoir facilement une partie de la base d'implantation au 1/1000^e et deux sommets ST₃-ST₄ de la triangulation.

La deuxième base ST₁₄-ST₁₃ (base dite des Longevilles), située dans le flanc du versant français et parallèle au Doubs sur presque toute sa longueur, sert de vérification et de fermeture du polygone de triangulation.

Les bases intermédiaires sont choisies suivant une direction sensiblement parallèle aux deux bases précédentes et disposées de façon à comprendre, dans leur ensemble, le tracé définitif ou tout au moins de s'en rapprocher le plus possible. Les sommets de la triangulation doivent être :

- facilement visibles de l'un à l'autre sans dépasser la limite de portée de l'instrument ;
- d'une approche facile, avec une plate-forme permettant d'y stationner centralement.

Ne pouvant être établie directement sur le Mont-d'Or, on place ST₃-ST₄ sur le versant opposé (de l'autre côté de l'Orbe), assez haut pour franchir la vallée, atteindre la première crête et déterminer ensuite ST₅-ST₆.

ST₇-ST₈ sert de base intermédiaire pour arriver à ST₉-ST₁₀ d'où l'on découvre les mamelons de Rochejean et Fourcatier où est fixée ST₁₁-ST₁₂.

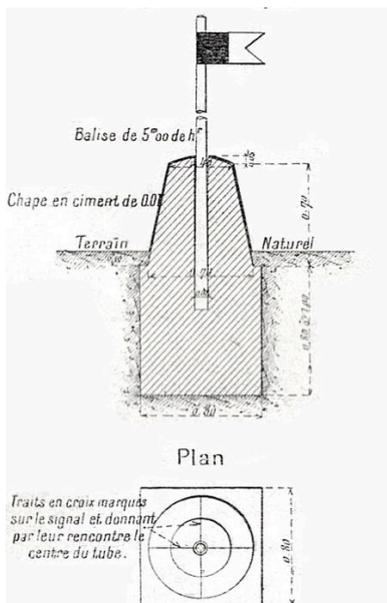
De ces sommets on redescend enfin dans la vallée du Doubs pour implanter la base de vérification ST₁₃-ST₁₄, dite des Longevilles, située à proximité de la tête Frasse du souterrain.

La "charpente" des plans au 1/1000^e est alors rattachée à la triangulation à l'intersection de ST₁₈-ST₁₉ avec la base des Longevilles et du côté Vallorbe au moyen du quadrilatère ST₁ ST₂ S₄ S₅.

2°) Les signaux placés sur le terrain

Les sommets de la triangulation doivent être construits solidement et de façon sûre afin de donner toute garantie pour qu'il ne puisse arriver aucun changement pendant le levé des angles.

On adopte pour les sommets ST₁, ST₂, ST₉, ST₁₀, ST₁₁, ST₁₂, ST₁₃, ST₁₄, des signaux à la forme dite "du troisième ordre de l'Albula et du Simplon" (ci-dessous, à gauche, à droite).



Chaque signal se compose d'un bloc en béton de ciment dont la surface en élévation est recouverte d'une chape.

À l'intérieur de ce bloc est noyé un tube en fer de 0,08 m de diamètre destiné à loger un jalon ou une balise. Des traits en croix marqués sur le pilier donnent, par leur intersection, le centre du tube.

La forme tronconique est adoptée pour permettre de placer facilement le trépied de l'instrument au-dessus du signal.

Fig. Collange.

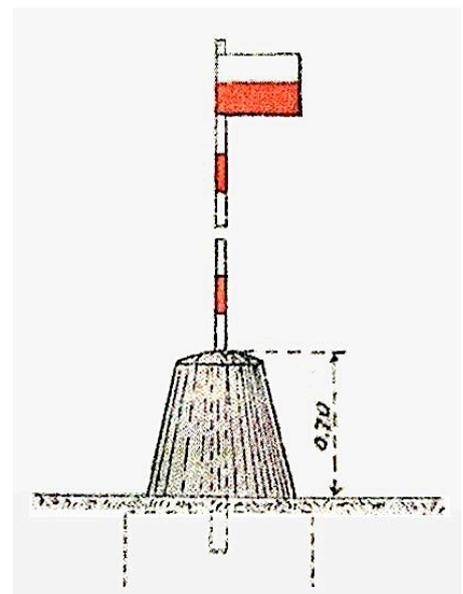


Fig. Poivre

Pour des visées inférieures à 2 km, on introduit dans le tube un jalon en bois de 2 m ou une jalonnette en fer que l'on centre le mieux possible au moyen de petites cales en bois.

Au delà de 2 km, et suivant l'état atmosphérique, on emploie des perches en sapin ou balises de 5 m de long et 0,075 m de diamètre à la base pouvant entrer librement et sans trop de jeu dans les tubes. Ces balises peintes en blanc et rouge sont surmontées d'un drapeau de même couleur.

Quant aux autres sommets ST₃, ST₄, ST₅, ST₆, ST₇ et ST₈, intermédiaires et de moindre importance, ils sont constitués par de forts piquets de 0,11 à 0,20 m de diamètre, percés d'un trou pouvant contenir la douille en fer des jalons et solidement maçonnés dans le rocher.

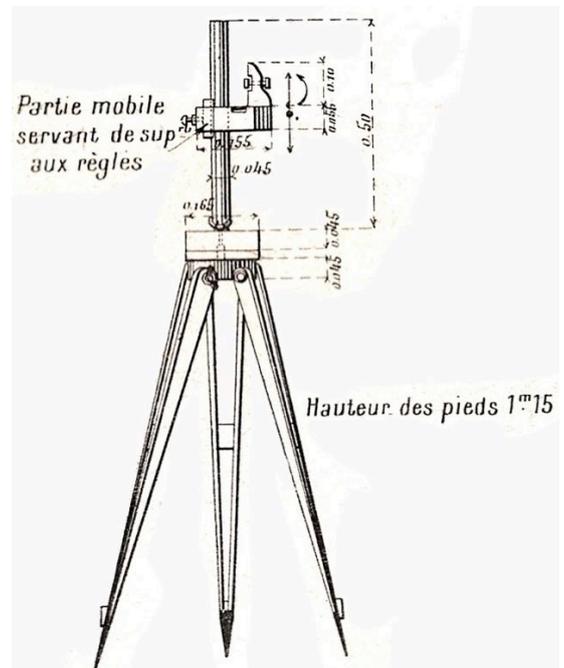
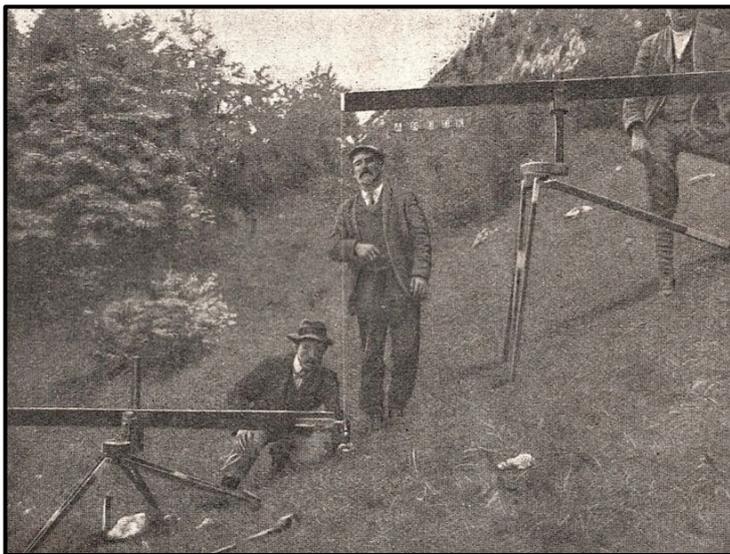
08b - Mesure des bases (du 16 octobre au 28 novembre 1909)

La mesure des bases ST₁-ST₂, et ST₁₃-ST₁₄ est réalisée au moyen de deux règles "commandant Clerc" de 4 m et à languette ainsi que de trépieds. L'étalonnage des règles est faite dans les ateliers Ponthus et Therrode sur une règle de 4 m en laiton, divisée avec microscope mobile. À cette règle en laiton s'en trouve accolée une autre en fer doux. Chacune d'elles porte une division à son extrémité et un index indique les corrections à faire pour la température de l'air ambiant.

Les règles pour la mesure des bases sont en sapin verni et munies à une extrémité d'une ferrure terminée par un demi-cylindre en acier placé verticalement qui constitue le côté fixe de la règle. L'autre extrémité (mobile) est munie d'une ferrure semblable dans laquelle est encastrée une réglette ou languette mobile terminée à sa partie extérieure par un demi-cylindre placé horizontalement. Un niveau noyé dans l'épaisseur de la règle et placé sensiblement au milieu, affleure à sa partie supérieure et permet de vérifier l'horizontalité.

Pendant les opérations, les règles se placent bout à bout, en ménageant entre elles un intervalle de quelques centimètres que l'on remplit en poussant avec précaution la réglette mobile pour que le contact ait lieu sans choc. Dans les terrains peu déclinés, le contact se fait directement d'une règle à l'autre ; dans les terrains inclinés, on rachète leur différence de niveau au moyen d'un fil à plomb dont l'épaisseur est ajoutée aux fractions mesurées (cf. photo ci-dessous de l'article Collange).

Pendant les mesures, les règles sont portées chacune par deux trépieds à têtes articulées dans les deux sens, ce qui facilite leur mise en place en alignement et en horizontalité.



Le départ, tant au début des opérations qu'à chaque reprise du travail, se fait en plaçant l'extrémité mobile de la règle dans la verticale du sommet initial ou du repère de fin de journée au moyen d'un fil à plomb. On marque par un procédé inverse le point d'arrivée à chaque interruption de travail.

L'évaluation de l'intervalle compris entre les deux règles se fait en amenant la réglette mobile en contact avec la partie fixe de la règle précédente. Des divisions tracées sur la réglette et sur la ferrure de la règle permettent d'apprécier directement le dixième de millimètre sur le vernier.

Les bases, ainsi mesurées deux fois, aller et retour, donnent les longueurs suivantes :

- base ST₁-ST₂ de Vallorbe : aller : 1078,937 m ; retour : 1078,956 m ; différence : 0,019 m ;
- base ST₁₃-ST₁₄ des Longevilles : aller : 1537,730 m ; retour : 1537,730 m ; différence : 0,000 m.

La longueur calculée de la base des Longevilles ST₁₃-ST₁₄ est de 1 537,670 m, soit une différence de 0,06 m.

08c - Mesure et correction des angles

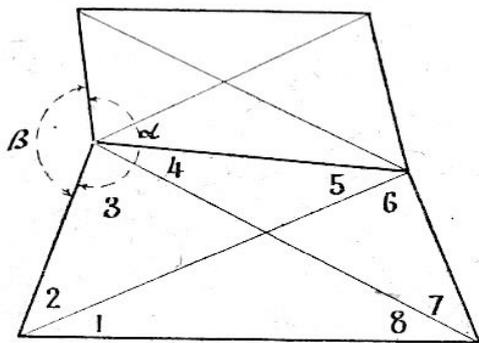
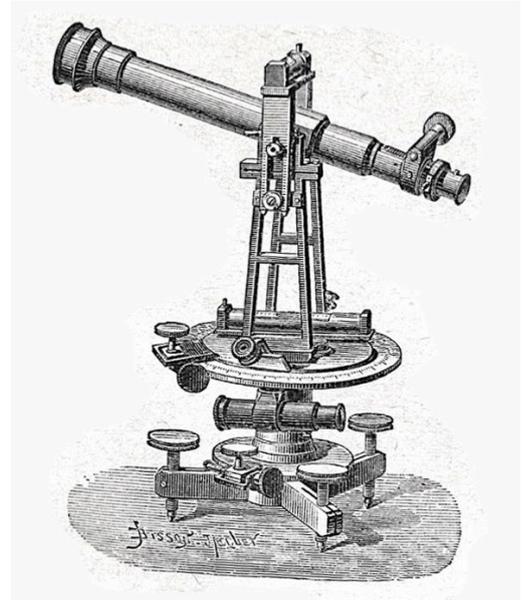
Cette partie des deux textes de Collange et Poivre est très développée et détaillée, avec de substantielles démonstrations mathématiques, géométriques et trigonométriques. Sont aussi présentées les méthodes de rectification des angles relevé. Nous ne reprendrons pas tout cela ici pour n'en rester qu'aux données générales et aux résultats, même s'il est évident que ce travail de précision est essentiel pour la détermination de l'angle directeur de l'axe du tunnel par rapport aux bases.

Les angles de la triangulation sont mesurés au moyen d'un cercle d'alignement répétiteur de 0,21-0,24 m de diamètre, deux verniers donnant les 10'' avec loupes concentriques, réflecteurs et bulle à cheval, lunette révolutionnant complètement sur son axe (modèle des Ponts et Chaussées) provenant de la maison Ponthus et Thercode, de Paris (gravure Collange ci-contre).

Les lectures des angles sont faites, à chaque station, par deux agents opérant séparément. Deux méthodes sont employées : leur description étant trop sophistiquée, elles ne sont pas reprises ici. Mentionnons seulement le fait que chaque angle est mesuré par 6 répétitions sur chacun des verniers, la moyenne des lectures donnant alors la valeur de l'angle...

Collange précise que les pointés se font sur des jalons de différentes grandeurs variant suivant les distances et sur des balises dans les grandes visées du côté des Longevilles, en observant pour chacun d'eux la parfaite verticalité des signaux.

À noter le commentaire donné par l'auteur : *“Un porte-mire se tient toujours à proximité du signal sur lequel on vise pour éloigner les nombreux troupeaux circulant sur le Mont-d'Or”*.



Dans chaque quadrilatère (ci-contre) on mesure les huit angles 1, 2, ... 7, et 8 formés par les diagonales, puis les angles totaux (1+2), (3+4), ... et enfin les angles α et β avec le quadrilatère suivant. On fait ainsi des observations surabondantes puisque deux triangles suffisent pour déterminer le quadrilatère ; mais on a ainsi des éléments de contrôle permettant de retrouver l'inexactitude, le cas échéant, d'un ou de plusieurs angles de la figure.

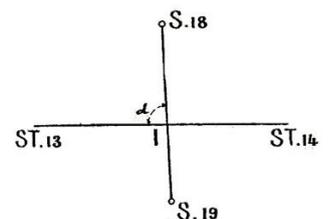
Les différences de fermeture dans les sommets des angles des quadrilatères sont finalement rectifiées avec la méthode Legendre, dite méthode des moindres carrés!...

Les deux auteurs précisent encore qu'il n'a pas été tenu compte dans les calculs de la sphéricité du globe dont l'influence dans le cas présent était négligeable!...

08d - Écarts constatés

Au point I, à l'intersection de la “charpente” au 1/1000^e (entre points S₁₈ et S₁₉ de celle-ci) avec la triangulation, les écarts constatés sont les suivants.

- Longueur ST13-I : 816,50 au lieu de 816,07 (mesurée) ; différence 0,43 m
- Longueur ST18-I : 615,89 au lieu de 618,83 (mesurée) ; différence 2,94 m
- Angle α calculé par les angles : différence de 2''26 de celui mesuré.



Collange développe ensuite un passionnant passage consacré à une “théorie des erreurs”, en s'appuyant sur l'ouvrage *Géodésie élémentaire* du lieutenant-colonel Bourgeois. Selon lui, toute observation, en général, est entachée d'erreurs plus ou moins grandes, provenant généralement des instruments, des variations atmosphériques ou des opérateurs. Ce passage comme celui relatif à la “méthode des moindres carrés” est manifestement très élaboré, montrant bien le haut niveau de culture scientifique et technique de l'ingénieur Collange (la publication de son texte dans le Bulletin des anciens “gadzarts” a dû “en épater plus d'un”).

Selon nos deux auteurs, les différences peuvent finalement être attribuées :

- 1) pour les longueurs, aux écarts inhérents au chaînage à la chaîne et surtout aux différences d'étalonnage ;
- 2) pour les angles, aux erreurs inévitables d'observation, à la fréquence des sommets pour profiter des éclaircies et éviter des coupes d'arbres trop considérables dans la forêt des Longevilles, et surtout aux imperfections du théodolite usagé ne donnant d'ailleurs pas une approximation suffisante.

La triangulation étant maintenant acquise, il faut passer à l'étape suivante qui consiste à rattacher (positionner) l'axe du futur souterrain à la triangulation de façon à aider les mineurs à percer le souterrain au bon endroit et dans les bonnes directions.

09 - Rattachement de l'axe du souterrain à la triangulation

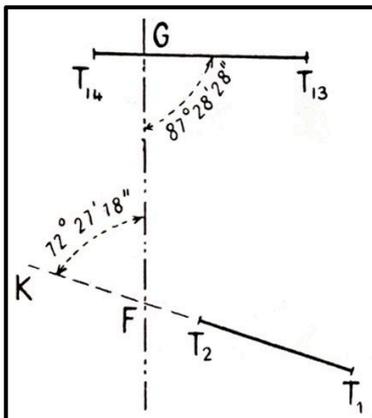
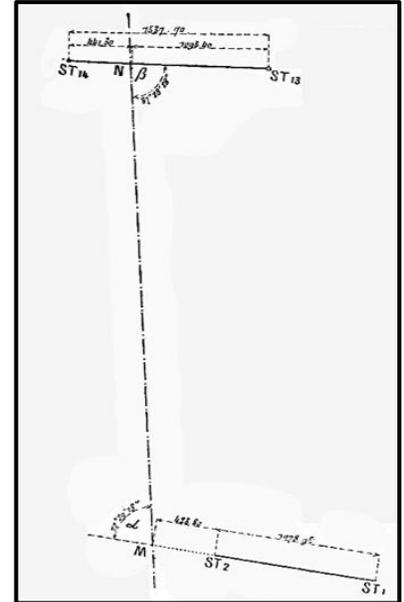
Les deux textes de Collange et de Poivre présentent, ici, le même contenu mais différent dans les détails et dans la dénomination des points figurant sur les schémas. Il est toutefois aisé d'établir les correspondances de lettres entre les deux textes.

09a - Rattachement de l'axe à la triangulation selon Collange

L'axe du souterrain étant tracé sur le plan, il s'agit de le rattacher au polygone de triangulation au moyen d'éléments connus ou calculés, de façon à donner aux opérateurs tous les renseignements nécessaires pour pouvoir appliquer celui-ci sur le terrain.

On mesure très soigneusement sur le plan au 1/2000^e de la triangulation les distances des sommets ST_2 , ST_{13} , ST_{14} , aux points d'intersection M et N (schéma ci-contre) avec les bases. On calcule ensuite les coordonnées de ces points dans le même système d'axe que pour la triangulation. Cela aboutit à la mesure $MN = 6\,250,32$ m.

Ces éléments étant connus, il est possible d'implanter directement l'axe du souterrain par-dessus la montagne et de vérifier, à partir de là, la fermeture sur la base ST_{13} - ST_{14} . Cette opération commencée en mars 1910 se concrétise par le tracé de l'alignement droit du souterrain et par la détermination des éléments de la courbe (côté Vallorbe) et le piquetage de celle-ci.



09b - ... et selon Poivre et le rapport PLM

Après l'étude du tracé du chemin de fer sur les plans à courbes de niveau au 1/1000^e, on reporte sur le plan de la triangulation au 1/2000^e la direction de l'alignement droit du souterrain passant par les points d'intersection G et F avec les bases extrêmes (G et F sont N et M dans l'article de Collange).

Les longueurs $G-T_{14}$ et T_2-F , évaluées graphiquement sur le plan, donnent les éléments nécessaires pour calculer les angles formés par la direction de l'alignement du souterrain avec les deux bases de la triangulation et la longueur entre leurs points d'intersection.

Le tracé de l'alignement droit GF par dessus la montagne étant possible, on procède sans retard à la suite des opérations.

Pour le tracé proprement dite de l'alignement droit, on poursuit ce Chronorama avec la notice de Poivre plus facile à suivre que l'article de Collange, d'autant plus que Poivre développe ce qui va être fait après 1910. Malheureusement, il manque un schéma avec les nouvelles lettres ou points repères que l'article mentionne.

La point F, situé à 423,80 m de T_2 sur le prolongement de T_1 - T_2 n'est pas visible de cette base et tombe malencontreusement dans le lit de la rivière d'Orbe (une bonne blague suisse!). Le repère est alors fixé sur un pieu fretté battu dans le lit et consolidé par un massif de béton coulé à l'intérieur d'un batardeau. Le point d'alignement sur F est donné par une station Z placée sur le prolongement de la base de Vallorbe.

De F, on ouvre l'angle calculé de $72^\circ 27' 18''$ et l'on atteint, par une visée très inclinée, la 1^{ère} arête de l'escarpement du Mont-d'Or où est placé le point H.

De ce point, visant F, on franchit la vallée de l'Orbe pour s'établir en I sur la crête de Vaulion, d'où franchissant de nouveau la vallée et visant H on prolonge l'alignement jusqu'en J. À partir de J on abandonne le tracé par cheminement avant, ou prolongement, et procéder par renversement de la lunette. On répète plusieurs fois l'opération dans chacune des quatre positions qu'elle peut occuper et on adopte comme point définitif la moyenne des points obtenus à chaque visée.

C'est ainsi qu'on atteint le point O qui sert d'observatoire pour le tracé du souterrain par l'attaque Frasne. Un repère de direction bien en vue, est en outre placé en P, ce repère portant un signal fixe constitué par un disque en tôle peint en rouge et blanc et barré verticalement d'un trait blanc et noir.

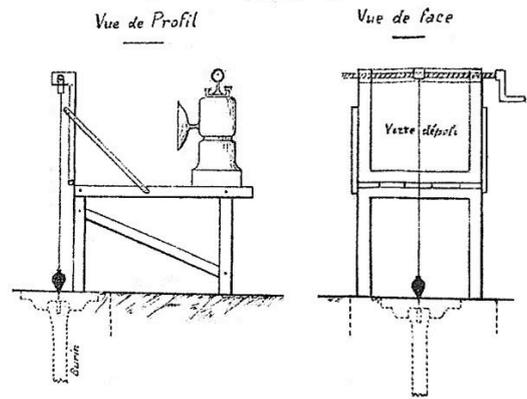
Le point G, intersection de l'axe et de la base des Longevilles rattaché à T_{14} donne une longueur de 441,21 m, inférieure de 0,09 m à la longueur calculée et un angle de $87^\circ 28' 24''$, inférieur aussi de $4''$ à l'angle calculé.

Les deux auteurs précisent que les opérations sur le terrain n'ont pas été simples. La transmission des signaux à grande distance a occasionné bien des tâtonnements : pour augmenter la visibilité de certains signaux, notamment celui de Vaultion, situé dans une trouée pratiquée dans la forêt, il a fallu placer un grand écran de couleur blanche derrière les bandes (voir dessin Collange ci-contre).

Collange ajoute : "Cette opération d'implantation de l'axe du souterrain, quoique effectuée en mars 1910 dans une couche de neige variant de 0,50 m à 1,50 m et une température souvent inférieure à -10°, démontre la justesse des opérations précédemment effectuées ; d'ailleurs, à titre de vérification supplémentaire, on mesura l'angle de l'intersection ST₇-ST₈ avec le tracé et on obtint 109° 17' 29" au lieu de 109° 17' 33".

Le chaînage par-dessus la montagne permet alors l'établissement du profil en long du souterrain (voir figure présentée au chapitre 02).

Fig.X - Ecran de visée.



09c - Détermination du tracé de la courbe de Vallorbe

On reprend ici l'article de Collange.

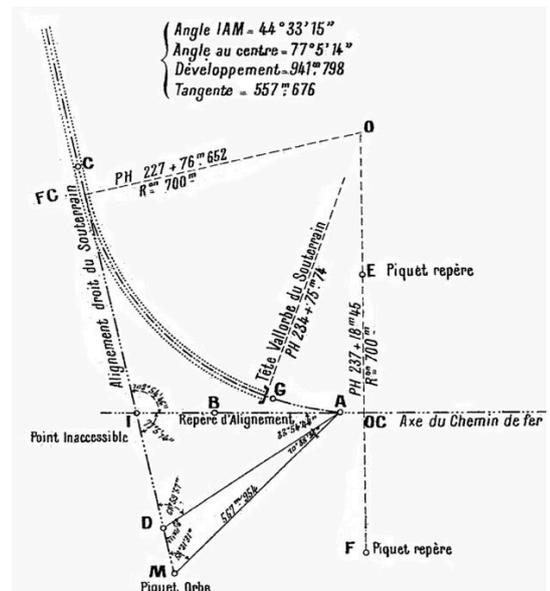
L'intersection de l'axe du chemin de fer (courbe de Vallorbe de 700 m de rayon) avec l'alignement droit du souterrain étant dans une partie inaccessible (coupure de rocher assez profonde), il s'avère impossible de mesurer l'angle des tangentes à la courbe et donc de calculer les éléments de cette courbe d'entrée.

On choisit donc un point A sur l'axe du tracé visible du piquet d'Orbe M situé sur le prolongement de l'alignement droit du souterrain (schéma ci-contre). On chaîne ensuite AM avec le plus grand soin possible et on relève les angles [IAM], [IMA]. Par différence on obtient [MIA] et par suite [CIA].

À titre de vérification, on chaîne une deuxième base MD et on mesure également les angles [DAM], [IAD], [IDA] et [ADM].

On obtient alors pour l'angle des tangentes CIA : 102° 54' 46". On calcule ensuite les tangentes et le développement de la courbe, puis on implante celle-ci par cordes et tangentes (ligne polygonale présentée plus bas). Le point OC est solidement maçonné et repéré de part et d'autre, ainsi que le point G près de la tête du souterrain.

Ces deux derniers points parfaitement repérés servent de départ pour les opérations souterraines.



10 - Réalisation effective du tracé dans le souterrain

On reprend ici, pour la suite de la présentation des opérations, la notice de Poivre (Collange n'a pas participé aux dernières opérations de concrétisation effective du tracé dans le souterrain).

Il faut maintenant pouvoir guider les mineurs dans leur travail de creusement des galeries en vérifiant à tout moment que celles-ci suivent bien le tracé théorique préalablement défini.

10a - Tracé dans le souterrain depuis Vallorbe : implantation d'une courbe polygonale

Les obstacles naturels et l'instabilité du terrain (éboulis) à la tête Vallorbe du tunnel ne permettent pas la mise en place préalable de repères de direction. Il faut donc attendre l'enlèvement des éboulis de la tranchée d'accès au souterrain et la mise à nu du rocher pour établir le point fixe A solide et définitif sur l'axe du tracé. À partir de là, le tracé en courbe est implanté au fur et à mesure de l'avancement de la galerie venant de la tête Vallorbe.

1°) Établissement d'une 1^{ère} "polygonale"

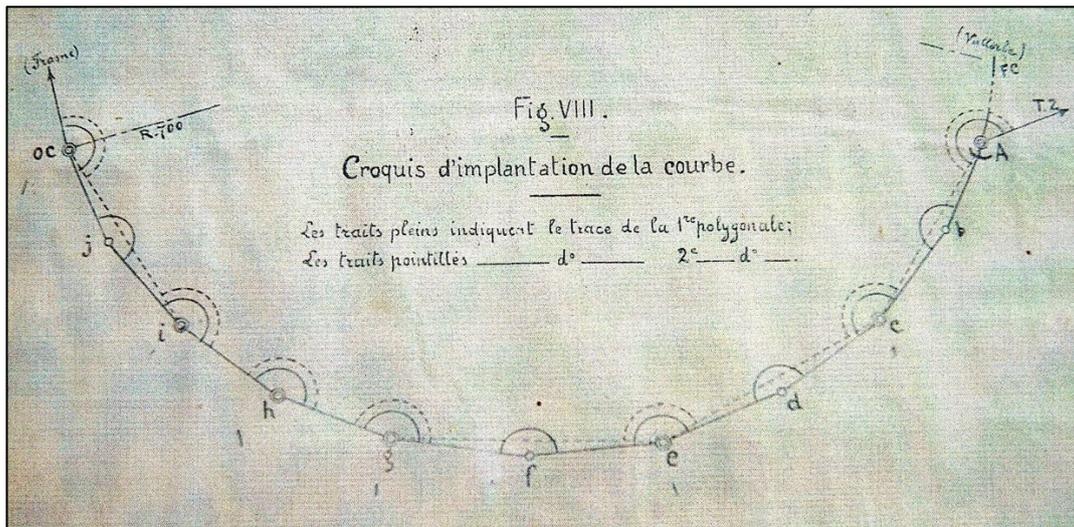
Un premier tracé d'une courbe polygonale est progressivement implanté. Cette ligne polygonale comporte 10 côtés. Partant du point A elle se dirige vers FC (mais se termine, à l'autre extrémité, à OC).

Des sommets intermédiaires b, c, d, e, f, g et h sont déterminés et "scellés" dans le sol à des emplacements choisis pour stationner à peu près à l'aise, chaque côté passant à 1,00 m au moins des parois de l'excavation

pour éviter le danger des réfractions latérales. Les côtés du polygone sont mesurés au moyen des règles Clerc. Les angles sont levés avec un théodolite Hildebrant. Il suffit ensuite, pour fixer le tracé, de calculer la distance entre chacun des sommets. L'axe de la courbe est ensuite rapidement tracé par les moyens ordinaires. Cette 1^{ère} ligne polygonale, commencée le 25 décembre 1910, est terminée le 21 mai 1911, l'avancement de la galerie étant alors de 870 m.

2°) *Établissement d'une 2^{nde} "polygonale"*

Dès que le souterrain est suffisamment élargi sur la longueur de la courbe, on procède à la vérification du tracé en utilisant un sommet sur deux de la 1^{ère} polygonale. On conserve cependant le sommet h qui se trouve dans une partie volontairement non maçonnée, ménagée par l'entreprise pour établir une voie d'évitement (gare intermédiaire dans le tunnel) pour les trains de chantier, là où la largeur est insuffisante pour doubler la longueur de la corde.



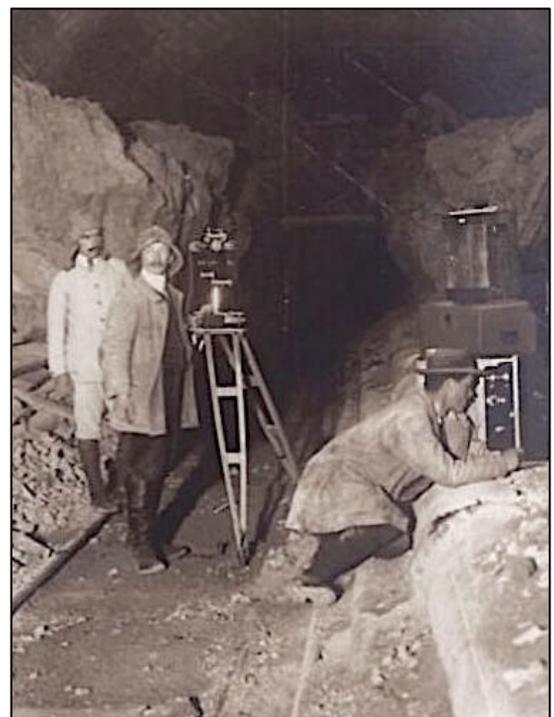
Cette 2^{nde} polygonale de vérification est terminée le 8 octobre 1912, l'avancement étant alors à 1 500 m. La courbe, côté Vallorbe, est ainsi bien tracée et piquetée.

10b - Tracé effectif de l'alignement droit dans le souterrain

Plus simple à réaliser, l'alignement droit (après la partie en courbe) est piqueté au fur et à mesure de l'avancement du percement de la galerie. Initialement piqueté jusqu'à 1 360 m, il est prolongé au fur et à mesure de l'avancement en plaçant des repères de direction à 1 900 m, 2 500 m, 3 100 m, 3 600 m et 4 150 m. Le tracé de l'alignement se fait autant que possible par cheminement en vérifiant, à chaque station, les repères arrière, autant que la visibilité le permet.

Une vérification générale du tracé est faite en août-septembre 1912 par la Compagnie du P.-L.-M. et par l'entreprise Fougerolle. Les résultats de ces opérations ne sont pas concordants... mais on choisit un compromis opérationnel.

A la suite des venues d'eau de décembre 1912 et avril 1913, la galerie d'avancement est arrêtée, sur l'axe, au point 4407. Continué latéralement à droite, à partir du point 4240, pour contourner la difficulté, la galerie regagne l'axe du souterrain au point 4482. Le tracé est dévié aussi par cette voie d'eau imprévue. L'avancement est ensuite repris sur l'axe jusqu'au point 4950. À ce moment (10 août 1913), la galerie de façade sur l'axe normal, passant par dessus la venue d'eau au point 4407, est percée de part en part jusqu'au point 4825. On peut alors prolonger l'alignement direct dans la galerie de façade et vérifier par superposition l'alignement du tracé dans la galerie de base entre les points 4482 et 4825. Une petite correction de tracé est alors adoptée. C'est avec cette direction rectifiée qu'est poursuivi l'avancement jusqu'au point 5040, point de rencontre des galeries (2 octobre 1913).



JM545, photo ing. Rougeot, date : début 1913

Du côté de la tête Frasné (Les Longevilles), le piquetage du tracé de l'alignement droit et du profil en long est réalisé jusqu'au point H, à la limite des pâturages du Mont-d'Or, là où la galerie d'avancement (et de façade) est arrêtée dans l'attente de l'arrivée de la galerie venant de Vallorbe.

Les mesures de longueur dans l'alignement droit sont faites au ruban décimétrique. Les communications entre opérateurs pendant le tracé dans le souterrain se font au moyen d'un téléphone portatif.

11 - In fine... et après

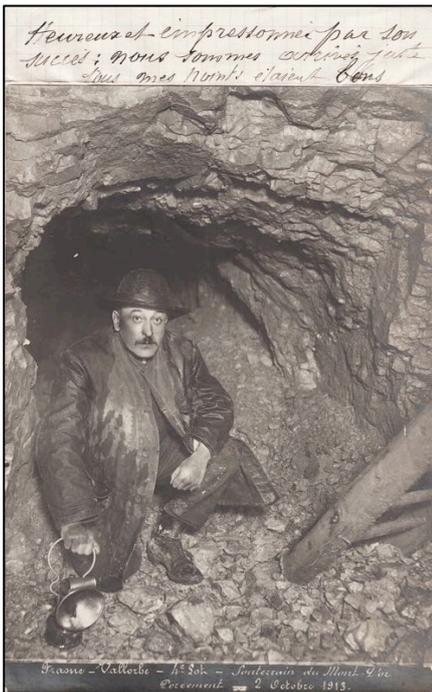
Collange, à la fin de son article de 1910, se permet d'annoncer, à l'avance, le succès de la conduite des opérations de percement du souterrain et plus particulièrement du contrôle du maintien de l'axe du tunnel.

“Si l'on considère que les chances d'erreur des opérations souterraines telles que hautes températures, obscurité, formation de brouillards, places humides, peu de temps disponible pour un travail constant, etc., seront presque nulles avec le nouveau théodolite que la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée vient d'acquérir spécialement pour la percée du Mont-d'Or (Max Hildebrand constructeur à Freiberg en Saxe avec approximation au quart de seconde), on peut, sans être trop optimiste, prétendre que ces opérations souterraines exécutées avec toutes les précautions possibles sous la haute direction de M. Nivert, Ingénieur de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, donneront un résultat aussi satisfaisant que celles effectuées”.

De fait, le 2 Octobre 1913, dans un puits percé à l'avancement de l'attaque Frasné pour racheter la différence de niveau entre galerie de base de l'attaque Vallorbe et la galerie de façade de l'attaque Frasné, l'équipe de Vallorbe crève la dernière muraille de rocher.

Le lendemain, on constate les différences de fermeture suivantes :

- en plan : 38 mm
- en nivellement : 9 mm
- en longueur : 0,48 m



Pour un souterrain de 6 km de long, on ne peut que saluer l'exploit des ingénieurs du P.-L.-M. et de leurs collaborateurs.

Le cliché exceptionnel ci-contre de la série P.-L.-M. montre en gros plan, Minot, Sous-chef de section Travaux du P.-L.-M., placé sous l'autorité de Poivre (Chef de section). Le cliché est pris lors de la rencontre des galeries ce 2 octobre 1913.

Sur la feuille de papier quadrillé sur laquelle a été collée la photo, on peut lire :

“Heureux et impressionné par ton succès ; nous sommes arrivés juste ... tous mes points étaient bons”.

L'auteur du texte est sans doute un cadre du P.-L.-M., ayant vraisemblablement travaillé au théodolite pour orienter les coups de pioche dans la bonne direction. Il pourrait s'agir de Poivre, collègue et supérieur de Minot, alors à la manœuvre dans les opérations de détermination du tracé du tunnel, sous l'autorité de l'Ingénieur Nivert.

Réf. JM347, coll. P.-A. Vionnet

Ph. série officielle PLM

Date référ. : 2 octobre 1913

Mais où est la frontière?

D'autres travaux de mesure et de repérage vont encore devoir être faits qui nécessiteront l'intervention des géomètres et autres topographes. C'est le cas notamment de la délimitation de la frontière entre France et Suisse à l'intérieur du tunnel, opération compliquée qui va impliquer les autorités tant françaises que suisses comme aussi le service du Contrôle P.-L.-M..

Un courrier du mercredi 14 avril 1915 de l'ingénieur des travaux publics du service des Ponts et Chaussées de Lons-le-Saunier (Pierre Messin) au Chef du Contrôle P.-L.-M. à Paris (M. Tür) donne d'intéressantes précisions à ce sujet.

La question de la délimitation de la frontière dans le tunnel a été évoquée le samedi 10 avril 1915 lors de la rencontre franco-suisse de reconnaissance officielle du tunnel et des travaux. Pierre Messin mentionne à cette occasion l'opération de récolement des dispositifs de mines prescrits par le Génie Militaire. Il faut part de sa demande à l'ingénieur Nivert sur les opérations de détermination de la frontière. Dans sa réponse, Nivert indique que les opérations de mesure contradictoires (équipes suisse et française de topographes) conduisent à un chevauchement de 1,36 m. Compte tenu des grandes difficultés rencontrées par ces opérations sur un terrain montagneux très escarpé, il est proposé un partage de l'écart entre les deux parties.



*JM1325, coll. Leroy
Ph. non ident.
Date référ. : 10 avril 1915*

Les ingénieurs du Ministère des Travaux Publics, du PLM et sans doute de la partie suisse procèdent à la reconnaissance officielle du tunnel.

Sur ce cliché pris en gare des Longevilles le samedi 10 avril 1915, on relève la présence d'Émile Nivert à côté (et un peu en arrière) d'un personnage assez fort, Pierre Messin, ingénieur des travaux publics en poste à Lons-le-Saunier et en charge du contrôle des tunnels du Jura.

*
* *

Rappel

- Page d'accueil Frasnè-Vallorbe : <http://michel.jean.free.fr/Frasne-Vallorbe/Chronoramas-FV.html>
- Essentiels de documentation : <http://michel.jean.free.fr/Frasne-Vallorbe/Documentation-FV.html>
- Voir aussi le Chronorama : [Tunnel du Mont-d'Or : percement & interieur](#)